



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Союз машиностроителей России
АО «Ульяновский НИАТ»
ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»
Кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»
Кафедра «Технологии заготовительно-штамповочного производства»

**Наука, теория, практика
авиационно-промышленного кластера
современной России**

Материалы X Всероссийской научно-производственной
конференции, приуроченной ко Дню Российской науки
и 80-летию победы в Великой Отечественной войне
(Россия, г. Ульяновск, 12-13 февраля 2025 г.)



Сборник научных трудов

Ульяновск
УлГТУ
2025



Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Union of Machine Builders of Russia
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 X scientific and production conference
dedicated to the Day of Russian science
and the 80th anniversary of victory in the Great Patriotic War
(February 12-13, 2025)

Collection of proceedings

Ulyanovsk
2025

Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России

УДК 629.7:658(082)

ББК 39.5+30.6я43

Н 34

УДК 629.7:658(082)

Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России. Материалы X Всероссийской научно-производственной конференции, приуроченной ко Дню Российской науки (Россия, г. Ульяновск, 12-13 февраля 2025 г.) : сборник научных трудов [Электронный ресурс]. – Электронные данные. Ульяновск : УлГТУ, 2025. – 250 с.

В сборник вошли тезисы докладов, представленных на X Всероссийской 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.

ISBN 978-5-9795-2469-6

© Коллектив авторов, 2025

© Оформление. УлГТУ, 2025

Состав организационно-программного комитета

Ярушкина Н. Г.	Председатель, ректор 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.
Войт А.В.	Председатель Ульяновского регионального отделения ООО «Союз Машиностроителей России»
Ефимов С. И.	Руководитель представительства ГК «Ростех» в Ульяновской области и Республике Мордовия
Морозов О. И.	Зав. каф. «Материаловедение и обработка металлов давлением» УлГТУ, к.т.н.
Гречников Ф.В.	Зав. каф. «Обработка металлов давлением» Самарского НИУ им. академика С.П.Королева (г.Самара), академик РАН, профессор, д.т.н.
Ибрагимов Е. Г.	Директор Ульяновского филиала ПАО «Корпорация «Иркут»
Платонов С.В.	Технический директор Филиала ПАО «Ил» - Авиастар
Марковцева В.В.	Ответственный секретарь Конференции, нач. НИО-110 АО «Ульяновский НИАТ», к.т.н.

Уважаемые коллеги!

В 2025 году Научно-производственная конференция «Инновации в технологиях формообразования листовых материалов и упрочения технологической оснастки в авиационной и других отраслях промышленности», приуроченная ко Дню Российской науки и к 80-летию победы в Великой Отечественной Войне, проводится в десятый раз на базе производственной площадки АО «Ульяновский НИАТ»..

В этом году конференция продлилась два дня. Основное заседание состоялось 12 февраля 2025г. В ходе заседания были заслушаны доклады иногородних специалистов ведущих Российских ВУЗов и предприятий: МГТУ им. Баумана, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, ООО «АВАТЭК 3Д» (г. Нижний Новгород), а также университетов и отраслевых предприятий Ульяновска. Второй день работы конференции (13 февраля 2025г.) прошел в формате круглого стола «Теоретические исследования процессов изготовления гнутых профилей в роликах интенсивными методами изготовления», на котором обсуждались актуальные теоретические и практические вопросы формообразования гнутых профилей, касающиеся расчета контактных усилий при формообразовании, энергосиловых характеристик процесса, условий создания пластического шарнира в очаге деформации, износа роликовой оснастки, способов повышения качества готовых профилей и др. Содержание конференции и ее результаты представлены докладами секций: «Заготовительно-штамповочное производство в машиностроении», «Инженерный анализ и автоматизация», «Подготовка производства» и «Гуманитарные науки в авиационно-космических технологиях».

Оргкомитет выражает благодарность авторам за участие Научно-производственной конференции «Инновации в технологиях формообразования листовых материалов и упрочения технологической оснастки в авиационной и других отраслях промышленности».

Надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество!

Оргкомитет конференции

Секция 1

**«Заготовительно-штамповочное
производство в машиностроении»**

ОЦЕНКА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И УСТАЛОСТНЫХ СВОЙСТВ СТАЛИ 12Х17Г9АН4 ПРИ ГОРЯЧЕЙ И ХОЛОДНОЙ ФОРМОВКЕ ЛИСТОВЫХ ГОФРИРОВАННЫХ ПАНЕЛЕЙ

Галкин В.В.¹, Пачурин Г.В.², Дербенев А.А.³, Казаков А.А.⁴

1 – д.т.н., проф. каф. «Машиностроительные технологические комплексы» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н.Новгород

2 – д.т.н., проф. каф. «Производственная безопасность. Экология и химия» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н.Новгород

3 – к.т.н., зам. директора НАЗ «Сокол» – филиал АО «РСК «МиГ», г. Нижний Новгород

4 – магистр каф. «Машиностроительные технологические комплексы» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н.Новгород

Аннотация. В статье представлены результаты исследования структурно-механических изменений и усталостных свойств стали 12Х17Г9АН4 при горячей и холодной формовке листовых гофрированных панелей. Получены результаты, что металл гофрированных панелей, изготовленных на прессе эластичной средой, имеет лучшие результаты по усталостной прочности по сравнению с металлом панелей, штампованных на молоте в металлическом штампе.

Ключевые слова: листовая гофрированная панель, конструктивный элемент панели – рифт, структурно-механические свойства металла, усталостные испытания, кривые усталости.

ASSESSMENT OF STRUCTURAL-MECHANICAL CHANGES AND FATIGUE PROPERTIES OF 12Kh17G9AN4 STEEL DURING HOT AND COLD FORMING OF CORRUGATED SHEET PANELS

Galkin V.V.¹, Pachurin G.V.², Derbenev A.A.³, Kazakov A.A.⁴

1 – Dsc., prof., dept. «Mechanical Engineering Technological Complexes» NSTU R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod

2 – Dsc., prof., dept. «Industrial Safety. Ecology and Chemistry» NSTU R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod

3 – PhD., Deputy Director of NAZ Sokol – branch of JSC RSK MiG, Nizhny Novgorod

4 – master dept. «Mechanical Engineering Technological Complexes» NSTU R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod

Abstract. The article presents the results of a study of structural and mechanical changes and fatigue properties of 12Kh17G9N4 steel during hot and cold forming of corrugated sheet panels. The results obtained show that the metal of corrugated panels manufactured on a press with an elastic medium has better results in fatigue strength (cyclic durability) compared to the metal of panels stamped on a hammer in a metal stamp.

Keywords: corrugated sheet panel, panel structural element - rift, structural and mechanical properties of metal, fatigue tests, fatigue curves.

Технологический опыт изготовления листовых гофрированных панелей позволяет выделить применяемые технологические процессы их изготовления. В настоящее время основной технологией является однопереходная формовка эластичной средой, размещенной в контейнере на жесткой матрице (форм-блоке) на специализированном гидравлическом прессе. В то же время, от процесса штамповки в металлических штампах на листоштамповочных молотах производство не отказывается. Формовка

ведется с нагревом за несколько переходов. В ранее опубликованной работе приведены сведения о неравномерности деформированного состояния и изменении прочностных свойств стали 12Х17Г9АН4 в зоне синусоидального рифта листовой панели, отштампованной на прессе и молоте. Результаты данной работы являются ее продолжением [1].

Исследование проводилось на деформированной стали 12Х17Г9АН4 для выявления структурно-механической характеристики материала, определяющей сопротивление усталости. Химический состав и механические характеристики стали 12Х17Г9АН4 приведены в таблицах 1 и 2 [2].

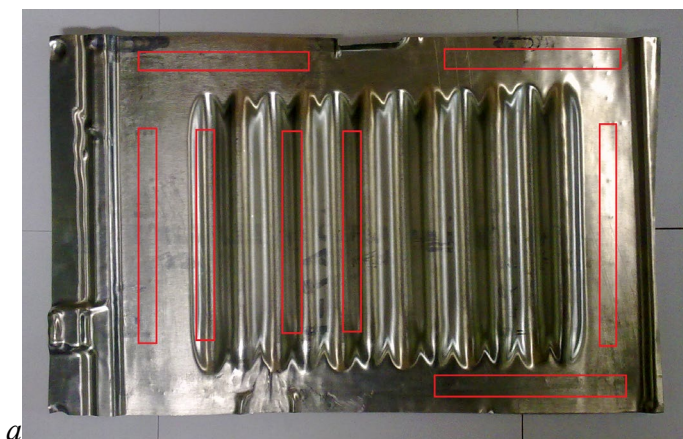
Таблица 1. Химический состав стали 12Х17Г9АН4 (ГОСТ 5632)

Марка стали	Основные компоненты в процентах							
	C	Mn	Cr	Ni	Si	S	P	N
12Х17Г9АН4	≤0,12	8,0÷10,5	16÷18	3,5÷4,5	≤0,8	0,02	0.035	0,15÷0,25

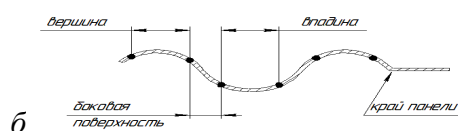
Таблица 2. Механические характеристики стали 12Х17Г9АН4 (ГОСТ 5632)

Марка стали	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
2Х17Г9АН4	800	515	42	54

Структурно-механические исследования и усталостные испытания стали 12Х17Г9АН4 проводились на материале панелей, изготовленных из листовых заготовок толщиной 1,0 мм по двум вариантам: с нагревом на молоте в свинцово-цинковом штампе за несколько операций и без нагрева на прессе на форм-блоке эластичной средой за одну операцию [3]. Исследуемая панель с размерами 500 мм. 320 мм, имеет рифты с синусоидальным профилем в поперечном сечении (рисунок 1 а).



а



б

Рисунок 1. Гофрированная панель (а) и места вырезки образцов в поперечном сечении синусоидального рифта (б)

Механические испытания включили испытания на статическую прочность (ГОСТ 1497) и сопротивление усталости материала зоны рифтов и участков недеформированного материала по боковым полям панели. В панелях по длине рифтов вырезались полосы по вершинам и впадинам рифтов, положения которых показаны на рисунке 1 б. Одна половина

полос использовалась для изготовления образцов для испытания на статическую прочность, другая – для испытания на сопротивление усталости.

Механические испытания включили испытание на растяжение для определения статической прочности (ГОСТ 1497).

Испытания на усталость проводились при комнатной температуре на плоских образцах (ГОСТ 25.502-73) при симметричном цикле консольного изгиба с частотой 1500 цикл/мин на двух позиционной испытательной установке (рисунок 2).

Величина приложенного напряжения σ_a , МПа, нагружения определялась выражением

$$\sigma_a = M_{изг}/W = 6Pl/bh^3,$$

где $M_{изг}$ - изгибающий момент в опасном сечении, Н·мм; W – осевой момент сопротивления опасного сечения образца, мм³; P – приложенная нагрузка, Н; l – плечо приложенной нагрузки, мм; b , h – ширина и толщина образца, мм.

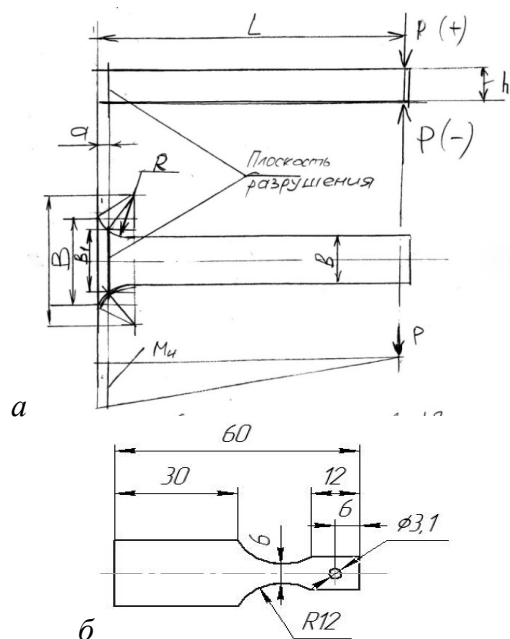


Рисунок 2. Испытания на циклическую долговечность: а – схема консольного изгиба образца; б – форма образца; в – фотография двух позиционной установки

Результаты усталостных испытаний стали 12Х17Г9АН4, представлены кривыми усталости на рисунке 3.

Сравнение полученных кривых показало, что металл гофрированных панелей, изготовленных на прессе эластичной средой, имеет лучшие результаты по усталостной прочности (циклической долговечности) по сравнению с металлом панелей, штампованных на молоте в металлическом штампе. При этом в обеих технологиях сопротивление усталости материала повысилось по сравнению с его исходным состоянием [3].

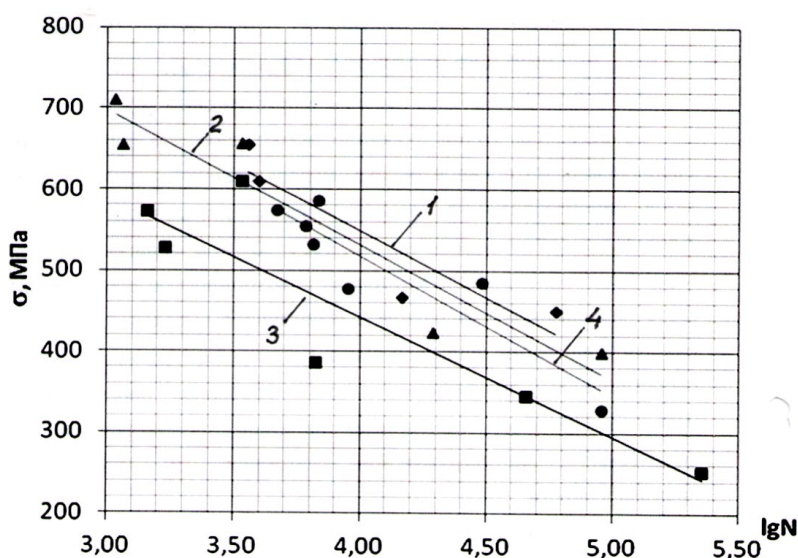


Рисунок 3. Кривые усталости стали 12Х17Г9АН4:
1 – деформация на прессе, $\varepsilon = 5\%$;
2 - деформация на молоте, $\varepsilon = 10\%$;;
3,4 – материал в продольном и поперечном направлениях в состоянии поставки

Объяснение полученных результатов основано на оценке структурно-механических характеристик металла штампованных изделий.

При холодной деформации на прессе повышение сопротивлению усталости вполне закономерно и соответствует положению теории усталости, согласно которому, при уменьшении размера зерен по их границам увеличивается сопротивление распространению трещин. Данное положение подтверждается анализом микроструктур, приведенных на рисунке 4. Для стали 12Х17Г9АН4 определяющим структурным фактором является размер субзерна [4]

Штамповка на молоте с нагревом имеет более сложную картину. С одной стороны, металл нагревается до температур его рекристаллизации, что уменьшает сопротивление усталости. С другой, скорость деформации на молоте на два порядка выше скорости деформации на гидравлическом прессе. Тем самым, процесс рекристаллизации металла гофрированных панелей может произойти не в полной мере. Это согласуется с результатами работ Гусляковой Г.П. и других ученых, согласно которых большей скорости деформации соответствуют более высокие показатели сопротивления усталости [4,5].

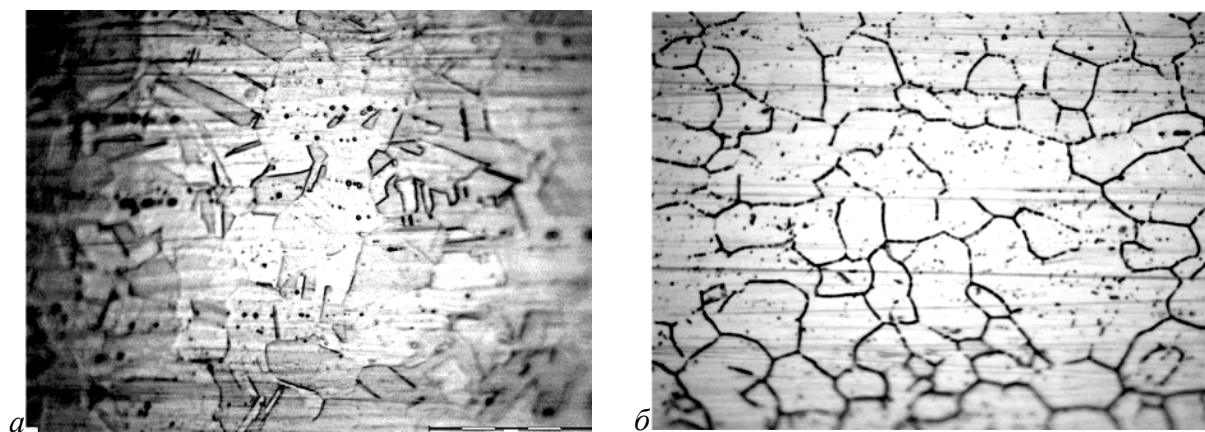


Рисунок 4. Микроструктура стали 12Х17Г9АН4 зоны впадин рифтов

листовых панелей, изготовленных на прессе (*а*) и на молоте (*б*) ($\times 340$)

Зависимости упрочнения металла, полученные при механических испытаниях, подтверждают полученные результаты. К примеру, на рисунке 5. представлены зависимости, которым соответствуют зонам наибольшей деформации и как следствие упрочнения: *а* - при формовке на прессе (зоны гребней), *б* - при штамповке на молоте – (зоны впадин). При обеих технологиях имеет место упрочнение металла изделий. При этом, упрочнение: на прессе (уравнение кривой деформационного упрочнения: $y = 0,14x + 3,14$) больше чем на молоте ($y = 0,09x + 3,01$). Это подтверждает вывод, что при горячей штамповке на молоте металл изделий имеет неполную рекристаллизацию.

Следует отметить, что результаты механических и усталостных испытаний являются усредненными из-за неоднородности деформации в рифтах, как в поперечном, так и в продольном направлениях. Однако, в целом, они согласуются с данными технологического производства и подтвердили правомерность применения стали с учетом повышения механических и усталостных показателей за счет упрочнения металла в штампованных изделиях. С одной стороны, при молотовой штамповки инструкции допускают нагрев заготовки с целью повышения пластичности материала, так как неравномерность утонения выше по сравнению штамповкой на прессе эластичной средой.

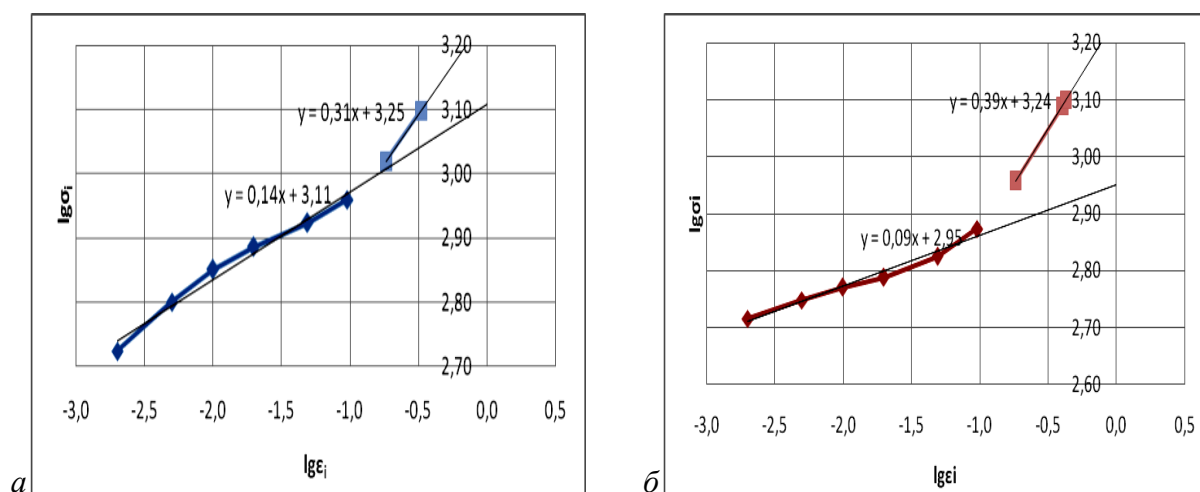


Рисунок 5. Зависимости упрочнения стали 12Х17Г9АН4 листовых гофрированных панелей, изготовленных по технологиям:
а – пресс (зоны гребней), *б* – молот (зоны впадин)

С другой стороны, в силу неполной рекристаллизации, имеет место упрочнение материала, что обеспечивает повышение прочностных характеристик и сопротивления усталости. Панель, штампуемая на прессе, в наиболее деформированной зоне имеет предел прочности $\sigma_B = 920$ МПа, а панель, штампуемая на молоте в горячем состоянии – 837,5 МПа. Результаты циклических испытаний образцов полностью подтверждаются результатами натуральных испытаний, в которых усталостные трещины

появляются в зоне перехода от гофр к плоской части панелей, где предварительная пластическая деформация при штамповке практически отсутствует.

Выводы

Металл гофрированных панелей, изготовленных на прессе эластичной средой, имеет лучшие результаты по усталостной прочности (циклической долговечности) по сравнению с металлом панелей, штампованных на молоте в металлическом штампе. При этом в обеих технологиях сопротивление усталости материала повысилось по сравнению с его исходным состоянием.

Список литературы

1. Галкин, В.В. Деформационный анализ и оценка упрочнения стали 12Х17Г9АН4 при изготовлении листовых панелей с синусоидальным рифтом на молоте в жестком штампе и прессе с применением эластичной среды / В.В. Галкин, Г.В. Пачурин, Е.А. Баженов // Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России: Сборник научных трудов VI Междунар. научно-произв. конф. / УлГТУ – Ульяновск, 2021 г. – С. 122-131.
2. Келоглу, Ю.П. Металлы и сплавы. Справочник / Ю.П. Келоглу, К.М. Захариевич, М.И. Картпшевская. – Кишинев: Изд-во "Картя Молдовенякэ", 1977. – 264 с. [1, 112].
3. Галкин, В.В. Структурно-механические и усталостные свойства штампованных на молоте и прессе листовых гофрированных панелей из сплава ЭИ 878 / В.В. Галкин, В.Г. Пачурин, Г.В. Пачурин // Фундаментальные исследования. – 2013. – №10 (часть 15). – С. 3294-3298.
4. Пачурин Г.В., Гуслякова Г.П. Оптимизация режимов технологической обработки с целью повышения сопротивления коррозионно-усталостному разрушению металлических материалов. – Нижний Новгород: Изд-во ВСНТО, 1991. – 72с.
5. Пачурин, Г.В. Повышение долговечности листовых штампованных деталей из высокопрочных сталей и сплавов / Г.В. Пачурин // Кузнечно-штамповочное производство. ОМД. – 2003. – № 11. – С. 7-11.

УДК 621.7.043

ИНКРЕМЕНТАЛЬНОЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ С КОНЦЕНТРИЧЕСКИМ ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ СЕЧЕНИЕМ

Демьяненко Е.Г.¹, Петров И.Н.², Фомичев Д.С.³

1 – д.т.н., профессор кафедры “ОМД” Самарского университета, г. Самара

2 – ассистент кафедры “ОМД” Самарского университета, г. Самара

3 – студент гр. 1219-150301D Самарского университета, г. Самара

Аннотация. В данной работе рассмотрена возможность изготовления полых деталей с равномерным распределением толщины по образующей, имеющих концентрические эллиптические сечения и одинаковый угол наклона образующей к основанию методом инкрементального формообразования листовой заготовки из алюминиевого сплава.

Ключевые слова. Инкрементальное формообразование, толщина, листовая заготовка, алюминиевый сплав, деформирующий инструмент.

INCREMENTAL SHAPING OF HOLLOW PARTS WITH A CONCENTRIC ELLIPTICAL SECTION

Demyanenko E.G.¹, Petrov I.N.², Fomichev D.S.³

1 – D.E.S., professor at the department of “Metal Forming” Samara National Research University (Samara University), Samara

2 – assistant at the department of “Metal forming” Samara University, Samara

3 – student of group 1219-150301D of Samara University, Samara

Abstract. The work is devoted to the consideration of the possibility of manufacturing hollow parts with a uniform thickness distribution over the generatrix, having concentric elliptical sections and the same angle of inclination of the generatrix to the base by the method of incremental shaping of an aluminum alloy sheet.

Keywords. Incremental forming, thickness, sheet part, aluminum alloy, deforming tool.

Современные тенденции развития различных отраслей промышленности стимулируют разработку высокоэффективных и конкурентоспособных видов техники и технологий, обеспечивающих жесткие требования к качеству и эксплуатационным свойствам изделий при экономии материальных и энергетических ресурсов, трудовых затрат, снижении себестоимости производства.

Типовыми изделиями конструкции ракетно-космической и авиационной техники являются тонкостенные оболочки из листовых заготовок (обшивки отсеков, обтекатели, топливные баки различных форм и размеров, баллоны хранения газов, сопловые оболочки, оболочки камер сгорания двигателей, в том числе двигателя вертолета). В настоящее время изготовления многих таких деталей не обходится без наличия сварного соединения, которое существенно влияет на эксплуатационные характеристики получаемых изделий. В связи с чем, актуальной задачей увеличения надежности является получения цельноштампованных тонкостенных деталей. В работе для решения поставленной задачи, процесс инкрементального формообразования предлагается использовать в качестве

предварительной операции получения цельноштампованного полуфабриката [1]. Полученный полуфабрикат является заготовкой для последующего формообразования в устройстве для отбортовки тонкостенных деталей [2] сужающейся формы с утолщенным дном и заданной толщиной вдоль образующей, увеличивающейся от элементов, расположенных в концентрических эллиптических сечениях больших размеров к элементам, расположенным в концентрических эллиптических сечениях меньших размеров. Аналогичные устройства, обладающие схожей технической сущностью описаны в патентах № 2493928 и № 2532581 [3, 4].

Способ инкрементального формообразования, схема которого представлена на рисунке 1, заключается в том, что пуансон со сферическим торцом, перемещаясь по заданному направлению, деформирует свободную часть листовой заготовки, жестко закрепленной между матрицей и прижимом. Деформирование заготовки осуществляется за счет перемещения инструмента по заранее разработанной траектории.

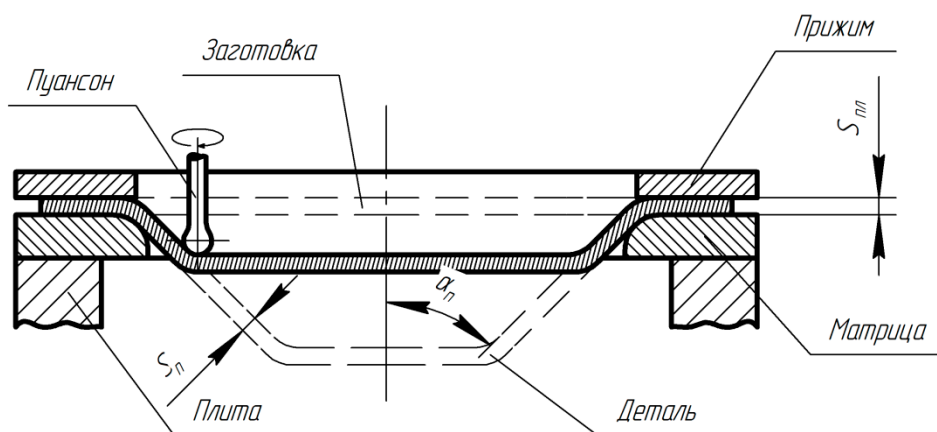


Рисунок 1. Схема инкрементального формообразования

$$S_{\text{п}} = S_{\text{пл}} \cdot \sin(90 - \alpha_{\text{п}}) \quad (1)$$

где $S_{\text{п}}$ - это толщина полуфабриката, $S_{\text{пл}}$ - толщина плоской заготовки, $\alpha_{\text{п}}$ - угол наклона образующей к оси детали.

На стенде инкрементального формообразования была получена деталь сужающейся формы с концентрическими эллиптическими сечениями, угол наклона образующей которой составляет $\alpha_{\text{п}}=70^\circ$, высота 90 мм, а отношение диаметров эллипса в сечении меньшего к большему постоянно и равно 0,5 (см. рисунок 2). В качестве заготовки использовался лист из алюминиевого сплава марки А5, толщиной 1,8 мм.

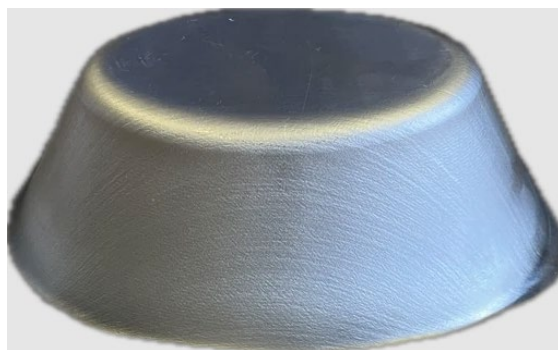
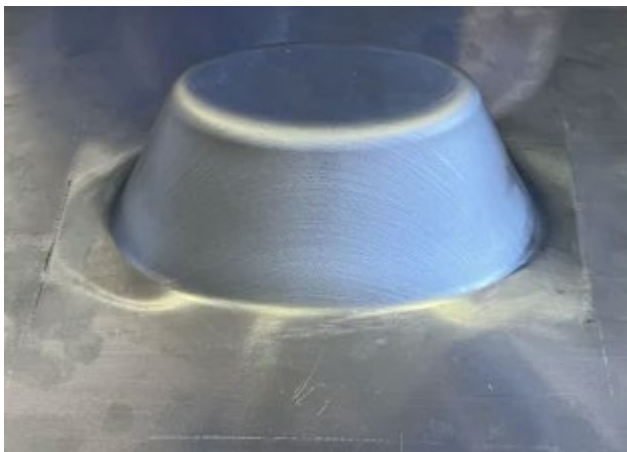


Рисунок 2. Полуфабрикат, полученный после инкрементального формообразования

Стенд инкрементального формообразования состоит из промышленного робота-манипулятора KUKA KR 160 R 1570 nano (см. рисунок 3) и стола с механическими зажимами для фиксации листовой заготовки. Построение траектории движения деформирующего инструмента осуществлялось в программном комплексе Trajetum [5]. Формообразование проводилось послойно, шаг перемещения деформирующего инструмента - 1 мм, диаметр инструмента - 12 мм. Скорость перемещения пуансона задавалась равной 30 мм/с.



Рисунок. Стенд инкрементального формообразования

Замер толщины полуфабриката по образующей в области большего и меньшего диаметров эллиптического сечения проводился с помощью стойки с электронным индикатором (ИЦ 0-12,7, точность $\pm 0,001$ мм).

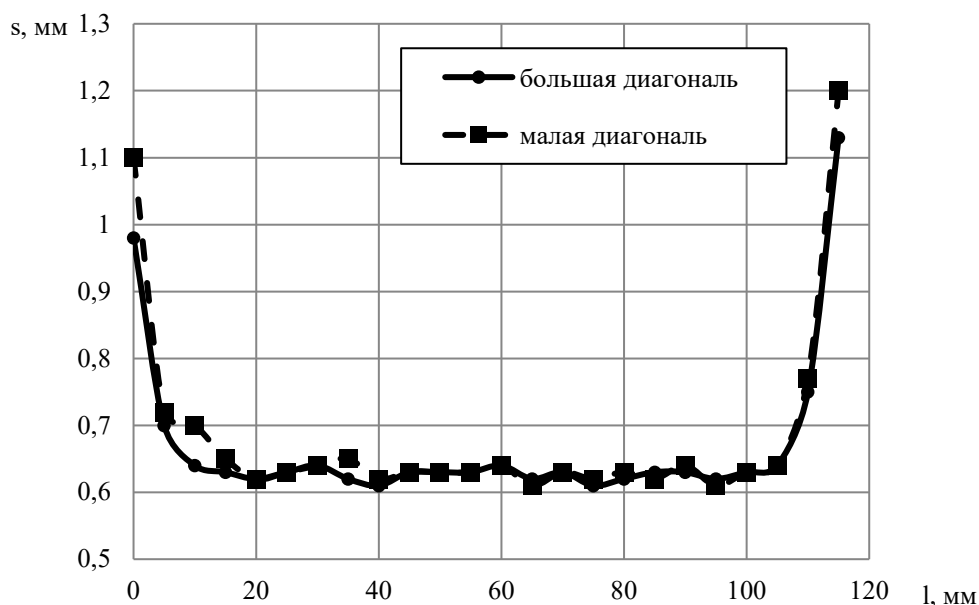


Рисунок 4 – Картина распределения толщины по образующей

Как видно из рисунка 4, толщина прямолинейного участка образующей в обоих случаях замера была одинакова и приблизительно равна 0,63 мм. В области перехода от донной части и основания к образующей толщина увеличивается и равна 1-1,2 мм. Полученные результаты замера толщины хорошо согласуются с теоретическими данными.

Представленный метод позволяет добиться равномерной толщины стенки изделия и исключить промежуточную операцию сварки, обеспечивая при этом необходимую гибкость в производстве заготовок различных форм. Для этого достаточно использовать универсальный набор инструментов и оборудования для инкрементального формообразования.

Список литературы

1. Гречников, Ф.В. Современное состояние теории и технологии инкрементального формообразования / Ф.В. Гречников, С.В. Сурудин, Я.А. Ерисов, Р. Де Алваренга // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2021. – Т20. – № 3. – С. 119 – 137. – URL: <https://journals.ssau.ru/vestnik/article/view/9900> (дата обращения: 04.02.2025);
2. Демьяненко, Е.Г. Исследование процесса формообразования цельноштампованных деталей по схеме отбортовка-формовка / Е.Г. Демьяненко, И.П. Попов, А.Г. Шляпутин // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2006. – Т5. – № 1. – С. 138 – 145. – URL: <https://journals.ssau.ru/vestnik/article/view/261> (дата обращения: 04.02.2025);
3. Попов, И.П. Устройство для формообразования тонкостенных осесимметричных деталей усеченной сужающейся формы № 2493928 [Электронный ресурс] / И.П. Попов, Е.Г. Демьяненко // Федеральный

Институт Промышленной Собственности. – 2013. – Бюл. № 27. – URL: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2493928&TypeFile=html (дата обращения: 04.02.2025);

4. Попов, И.П. Способ формообразования тонкостенных осесимметричных деталей усеченной сужающейся формы и устройство для его осуществления № 2532581 [Электронный ресурс] / И.П. Попов, Е.Г. Демьяненко // Федеральный Институт Промышленной Собственности. – 2014. – Бюл. № 31. – URL: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2532581&TypeFile=html (дата обращения: 04.02.25);

5. де Алваренга, Р. Программа для построения траектории перемещения деформирующего инструмента при инкрементальном формообразовании № 2023610349 [Электронный ресурс] / Р. Де Алваренга, Я.А. Ерисов, И.Н. Петров, А.О. Кузин В.А. Разживин // Федеральный Институт Промышленной Собственности. – 2023. – URL: (дата обращения: 04.02.2025);

УДК 621.98.04

ДЕФОРМИРОВАНИЕ КРУПНОГАБАРИТНОГО ПОЛУТОРОВОГО ОСОБОТОНКОГО ДНИЩА

Демьяненко Е.Г.¹, Попов И.П.², Охалкин Ю.С.³, Иванус Е.А.⁴

1 – д.т.н., профессор кафедры ОМД Самарского университета, г. Самара

2 – д.т.н., профессор кафедры ОМД Самарского университета, г. Самара

3 – аспирант гр. А2 02.05.07 Самарского университета, г. Самара

4 – студент гр. 1218-220302D Самарского университета, г. Самара

Аннотация. Целью исследования является выбор технологии штамповки крупногабаритного полуторового днища с применением существующих процессов деформирования в обработке металлов давлением. Рассмотрены пять вариантов формообразования в инструментальных штампах на гидравлическом прессе двойного действия.

Ключевые слова: полуторовое днище, деформирование, толщина, гофрообразование, вытяжка, технология.

DEFORMATION OF A LARGE-SIZED HALF-TORUS EXTRA-THIN BOTTOM

Demyanenko E.G.¹, Popov I.P.², Okhapkin Yu.S.³, Ivanus E.A.⁴

1 – PhD, Professor of the Department of Metal Forming at Samara University, city of Samara

2 – PhD, Professor of the Department of Metal Forming at Samara University, city of Samara

3 – postgraduate student the G-A2 02.05.07 at Samara University, city of Samara

4 – student the G-1218-220302D at Samara University, city of Samara

Abstract. The purpose of the study is to select a technology for stamping large-sized half-torus bottoms using existing deformation processes in metal processing by pressure. Five variants of forming in tool dies on a double-acting hydraulic press are considered.

Keywords: half-torus bottom, deformation, thickness, corrugation, extraction, technology.

В настоящее время в баковых конструкциях ракетно-космической техники широко применяются днища сферической и полуторовой формы. Чаще всего полуторовые днища изготавливают из сегментов с их последующей сваркой, что не обеспечивает необходимого качества и точности деталей, а также требует наличие дополнительных средств технологического оснащения. Сегменты крупногабаритного полуторового днища могут быть изготовлены несколькими способами:

- штамповкой в свинцово-цинковых штампах;
- штамповкой эластичной средой;
- газотормованием;
- обтяжкой;
- формовка - гибка в роликовой машине;
- реверсивной вытяжкой.

Этими же способами, но из цельной заготовки, изготавливаются днища малой конструкции. Любая из технологий получения полуторового днища должна гарантировать отсутствие потери устойчивости заготовки и

зависит от производственной базы предприятия, отражаясь на расходе материала и количестве операций, т.е. на затратах, влияющих на конечную стоимость изделия [1,2,3].

При выборе материала для производства баковых конструкций разной массы и габаритов необходимо, чтобы его характеристики позволяли обеспечить равномерное распределение толщины деталей с учетом требований к точности их изготовления. Основным материалом для космической отрасли является алюминиевый сплав АМг6М, востребованный и в авиационной технике [4].

Объектом исследования является полуторовое крупногабаритное особотонкостенное днище $D=3900$ мм, $d=1030$ мм, $R=850$ мм, толщиной $S_0=6$ мм из сплава АМг6М. Его схема представлена на рисунке 1.

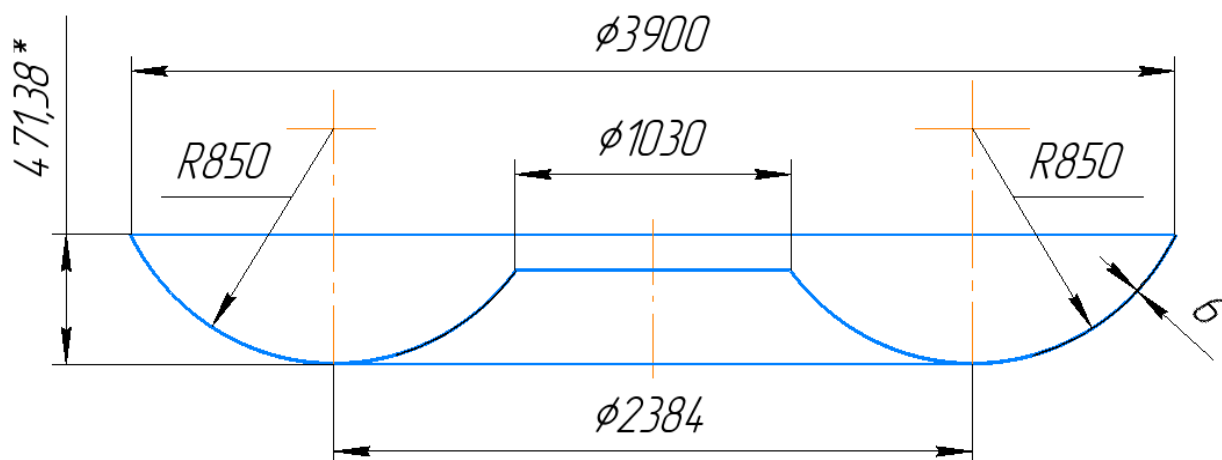


Рисунок 1. Полуторовое днище

Для определения технологии изготовления указанного днища будем рассматривать холодную штамповку (вытяжка в инструментальных штампах). Так как крупногабаритная технологическая оснастка является дорогостоящей, необходимо обеспечить точность изготовления днища с минимальным количеством переходов [5]. Для этого были разработаны схемы деформирования крупногабаритного особотонкого полуторового днища из заготовки толщиной 6 мм.

На рисунке 2 показан возможный вариант формообразования в инструментальном штампе за два перехода вытяжки двумя различными пуансонами (поз.3 и 6) в матрицу поз.1 одной геометрии с центральным сегментом поз.5. На первом переходе совместно с другими деталями штампа используется фигурный сегмент матрицы поз.4, который позволяет снизить возможную потерю устойчивости заготовки. Заготовка укладывается на верхнюю поверхность матрицы поз.1, после чего прижимается к ней кольцевым прижимом поз.2. Далее пуансон поз.3 движется вниз, осуществляется первый переход вытяжки заготовки в полость матрицы поз.1. Формообразование происходит на кольцевом с выступом сегменте матрицы поз.4 и центральном сегменте поз.5. На втором переходе вытяжки удаляется сегмент матрицы поз.4 и заменяется пуансон с

вогнутым кольцевым участком поз.3 на сферообразный пуансон поз.6 с центральной осью. Процесс повторяется с переформовкой и выпучиванием участка заготовки и вытяжкой конечного полуторового днища с использованием той же матрицы.

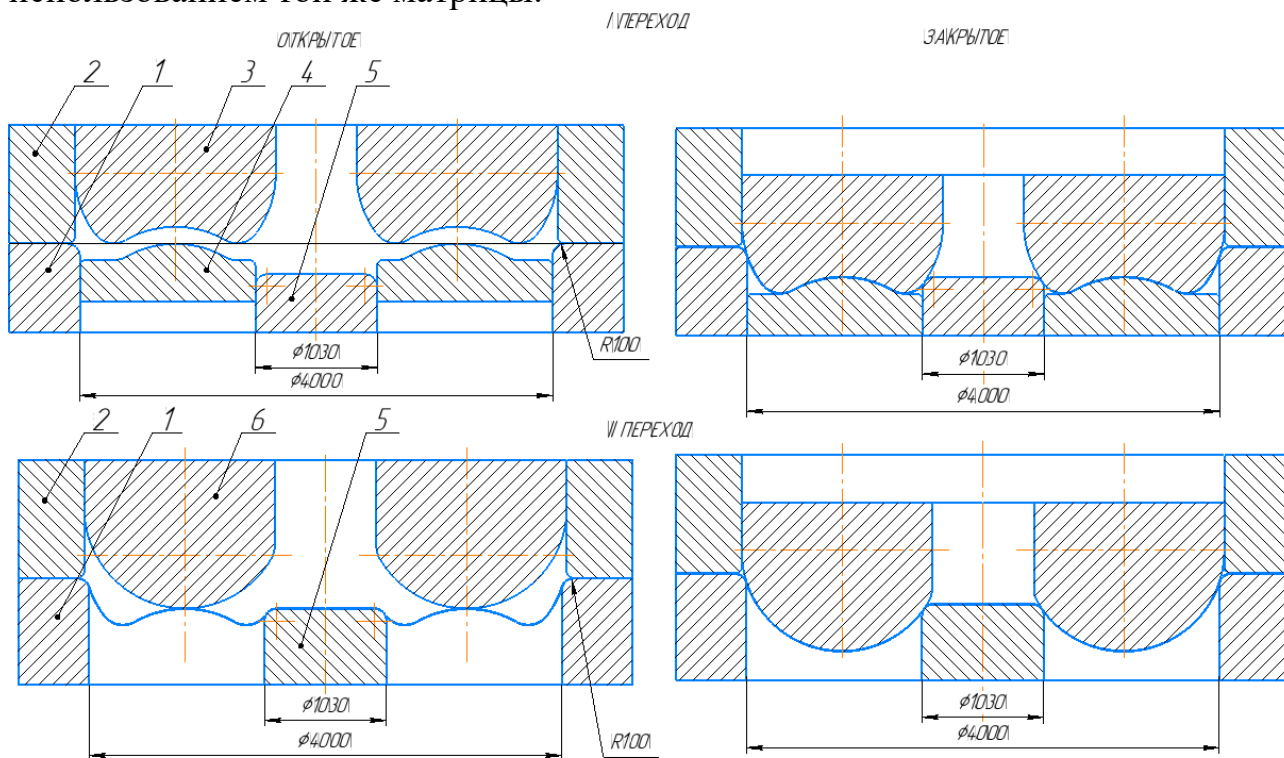


Рисунок 2. Первый вариант деформирования

На рисунке 3 представлен вариант изготовления днища с минимальным количеством средств технологического оснащения на производстве: реализуется в инструментальном штампе за два перехода вытяжки, с использованием двух пуансонов поз.3,4, одной матрицы поз.1 и одного центрального сегмента матрицы поз.5. Заготовка укладывается на верхнюю поверхность матрицы поз.1, после чего прижимается к ней кольцевым прижимом поз.2. Далее пуансон поз.3 движением вниз осуществляет первый переход вытяжки заготовки в полость матрицы, с получением цилиндрической заготовки. На втором переходе вытяжки устанавливается центральный сегмент матрицы поз.5 и заменяется пуансон второго перехода поз.4. Процесс осуществляется аналогично со вторым переходом первой схемы, с вытяжкой конечного полуторового днища.

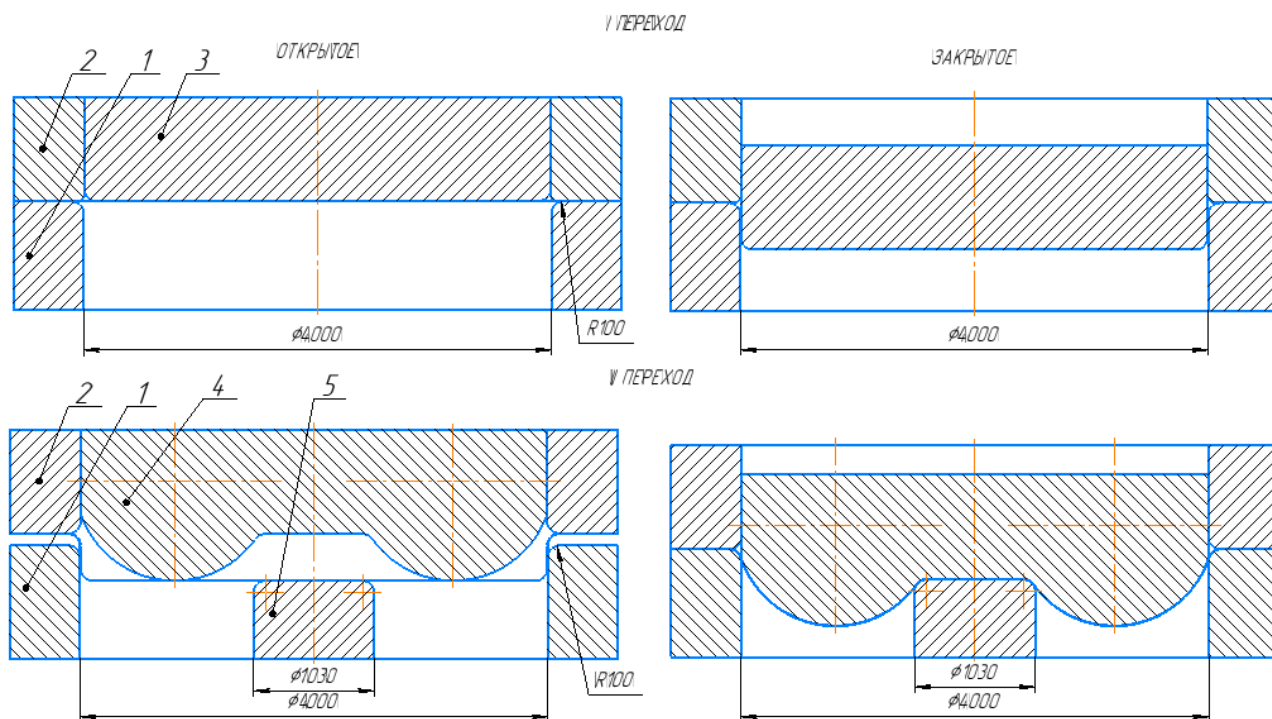


Рисунок 3. Второй вариант деформирования

На рисунке 4 представлена модифицированная схема деформирования второго варианта, и технология изготовления полуторового днища осуществляется за три перехода вытяжки, со сменными рабочими частями штампа. На первом переходе заготовка укладывается на верхнюю поверхность матрицы поз.1, после чего прижимается к ней кольцевым прижимом поз.2. Далее сегментный пуансон поз.4,5,6 движением вниз осуществляет первый переход вытяжки заготовки в полость матрицы поз.1 на центральном сегменте матрицы поз.3 с получением цилиндрической кольцевой заготовки. На втором переходе вытяжки в полость матрицы поз. 2 и между центральным сегментом матрицы поз.3 устанавливаются два кольцевых сегмента поз.7 и 8, образуя составной контур матрицы. Такой контур составной матрицы перераспределит площадь деформирования в процессе вытяжки, что позволит снизить вероятность потери устойчивости заготовки и образование гофр. Заготовка после первого перехода укладывается на составную поверхность матриц и прижимается к ней кольцевым прижимом поз.2. Далее сегмент пуансона поз.4 движением вниз осуществляет второй переход вытяжки заготовки в полость матрицы между кольцевыми сегментами поз.7, 8 с получением на цилиндрической кольцевой заготовке - выступа. На третьем переходе полностью переналаживается штамповая оснастка вытяжки: производится замена матрицы поз.9, кольцевого прижима поз.10, убираются внутренние сегменты матрицы, кроме центрального поз.3 и составной пуансон заменяется на пуансон поз.11. При этом третий переход вытяжки осуществляется аналогично со вторым переходом первой схемы, с переформованием полученной заготовки после первого и второго перехода с вытяжкой конечного полуторового днища.

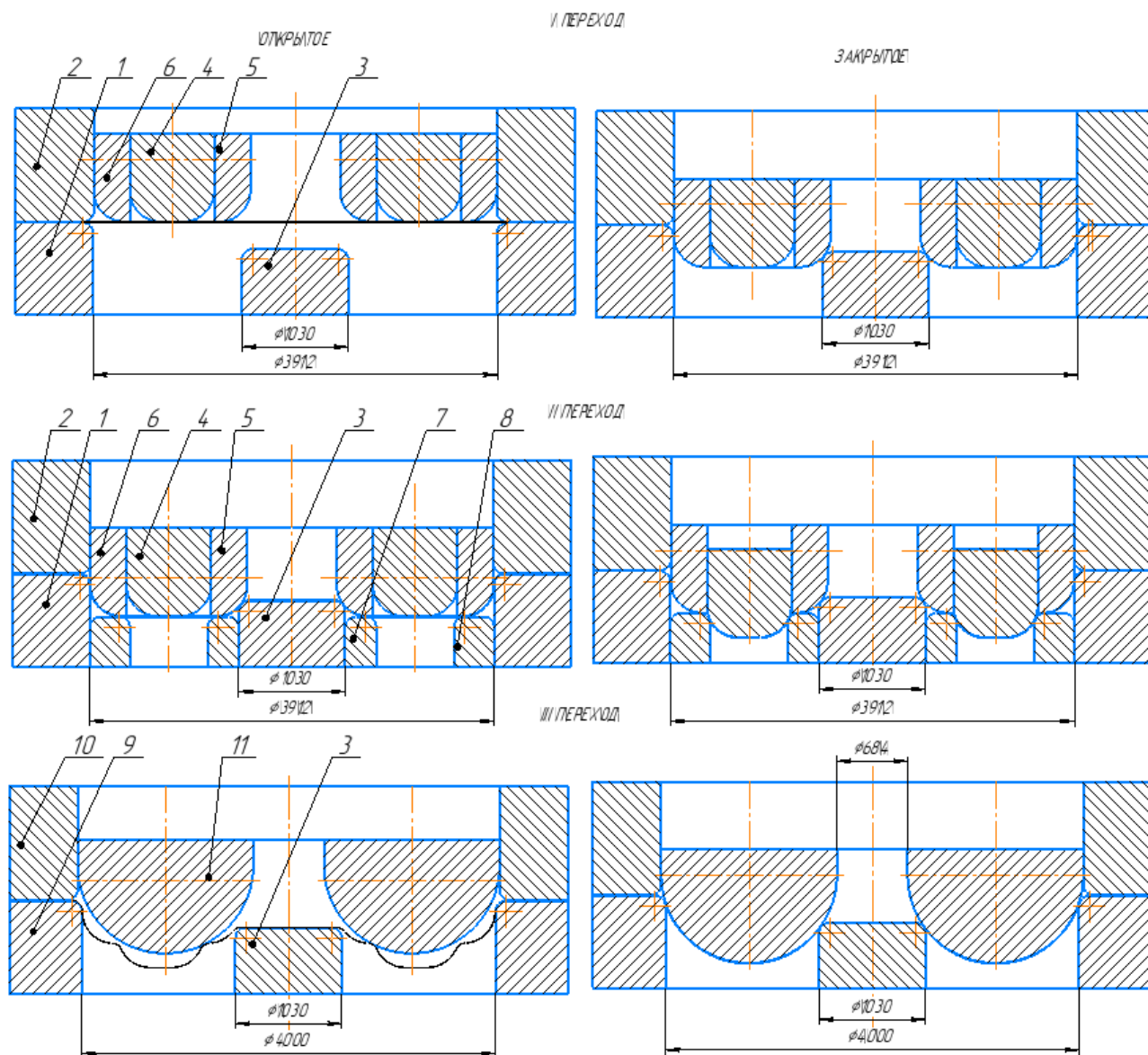


Рисунок 4. Третий вариант деформирования

На рисунке 5 представлен четвертый вариант изготовления днища также с минимальным количеством оснастки: реализуется в инструментальном штампе за два перехода вытяжки, с использованием одного пуансона поз.3, двух элементов матрицы поз.1 и поз.4. Заготовка укладывается на верхнюю поверхность матрицы поз.1, после чего прижимается к ней кольцевым прижимом поз.2. При этом внутри полости матрицы поз.1 располагается кольцевой сегмент матрицы поз.4. Далее пуансон поз.3 движением вниз осуществляет первый переход вытяжки заготовки в полость сегмента матрицы поз.4, с получением центрального элемента заготовки. На втором переходе вытяжки переналадка не осуществляется, а производится поднятие центрального сегмента матрицы поз.5 и пуансона поз.3, который поджимает уже сформированную центральную часть. Процесс осуществляется с обтягиваем материала заготовки по кольцевому сегменту матрицы поз.4 и с вытяжкой конечного

полуторового днища. Однако появляется вероятность образования складок на свободной части заготовки.

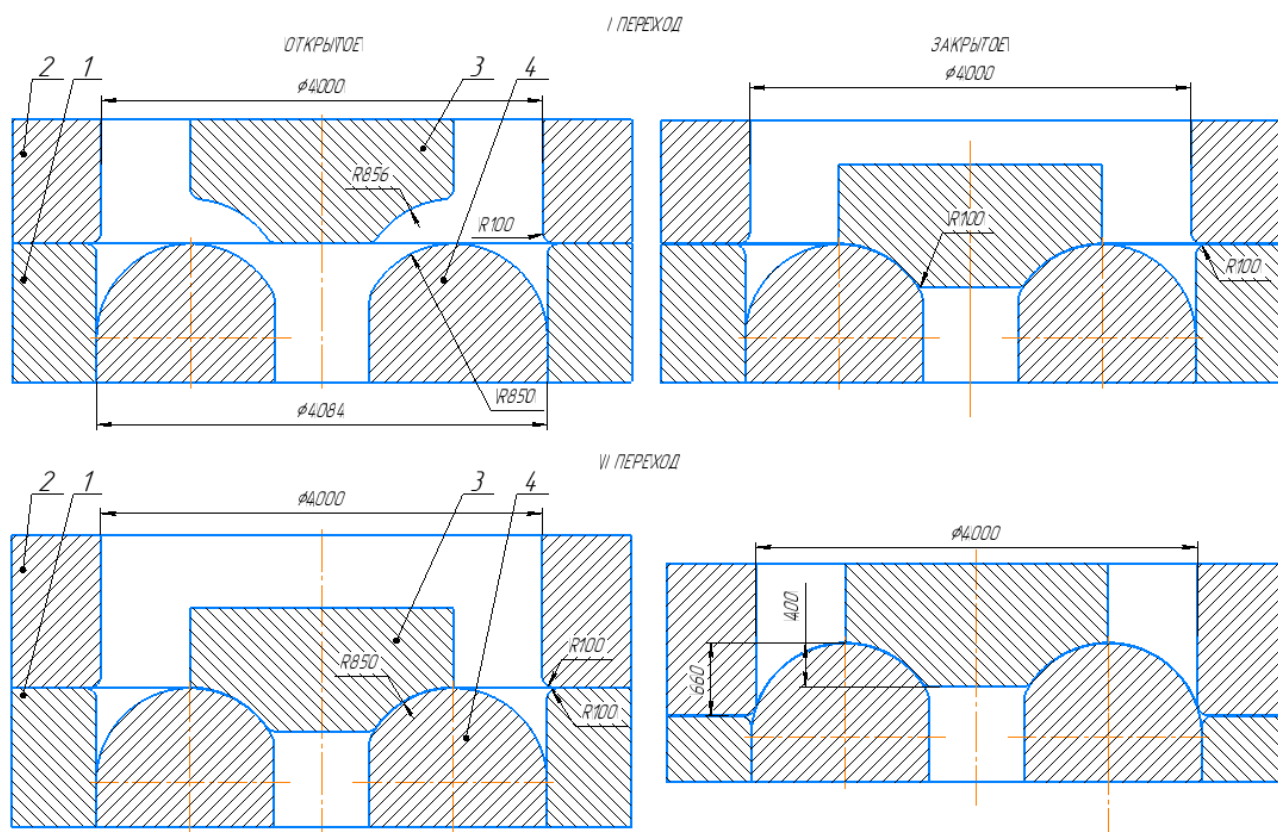


Рисунок 5. Четвертый вариант деформирования

На рисунке 6 представлена модифицированная схема деформирования первого перехода второго варианта деформирования для возможности снижения гофрообразования на свободной части заготовки. Вытяжка осуществляется в две матрицы двумя различными пуансонами. Заготовка укладывается на верхнюю поверхность матрицы первого перехода поз.1, после чего прижимается к ней кольцевым прижимом первого перехода поз.2. При этом внутри полости матрицы поз.1 располагается центральный сегмент матрицы поз.4. Далее пуансон поз.3 движением вниз осуществляет первый переход вытяжки заготовки в полость матрицы поз.2 на центральном сегменте поз.4. Для второго перехода вытяжки штамповая оснастка переналаживается и устанавливается матрица второго перехода поз.5, кольцевой прижим второго перехода поз.6, центральный сегмент матрицы поз.8 и пуансон поз.7. Заготовка после первого перехода закладывается в полость матрицы второго перехода поз.5 на верхнюю поверхность, после чего прижимается к ней кольцевым прижимом второго перехода поз.6. Далее пуансон поз.7 движением вниз осуществляет переформование заготовки в полость матрицы поз.5 на центральном сегменте поз.8.

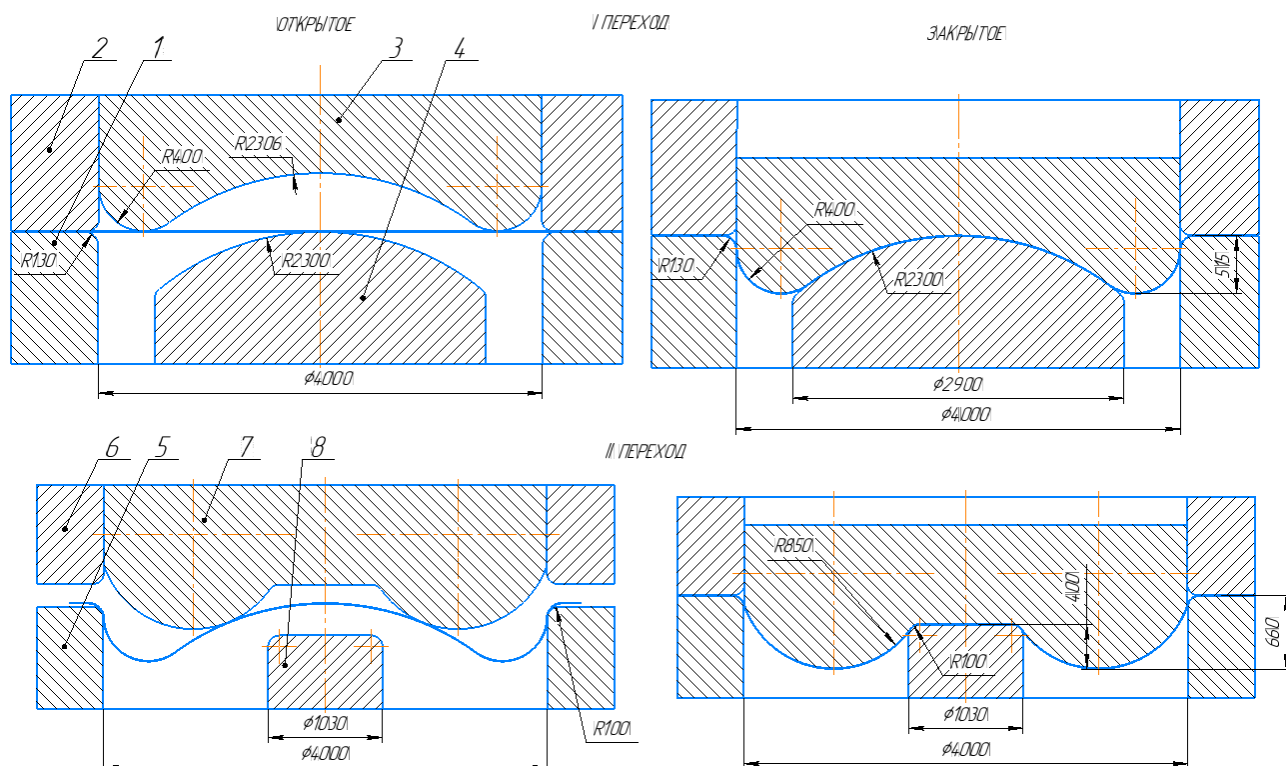


Рисунок 6. Пятый вариант деформирования

Для анализа и проверки работоспособности представленных вариантов использовали моделирование в программном продукте LsDyna.

Анализ моделирования пяти вариантов штамповки исследуемого крупногабаритного осесимметричного полуторового днища показывает, что наиболее предпочтительным является пятый вариант деформирования. Тенденция к гофрообразованию при этом варианте минимальна, также наблюдается незначительное утонение заготовки до 5,1 мм при допускаемом – 4,5 мм. Следовательно, возможно разработка технологии по пятому варианту деформирования для последующей работы, поиска оптимальной геометрии рабочих деталей для переходов вытяжки и равномерного распределения толщины по всей части детали. Результаты моделирования значительно сокращают поставленные сроки разработки технологических процессов, время проектирования оснастки и проведения опытных работ, снижая расходы на дорогостоящую оснастку.

Список литературы

1. Мельников, Э.Л. Холодная штамповка днищ [Текст] / Э. Л. Мельников. - Москва: Машиностроение, 1976. - 183 с.: ил.; 21 см.
2. Яковлев С.С., Трегубов В.И. Теория и технология изготовления крупногабаритных осесимметричных деталей ответственного назначения из высокопрочных анизотропных материалов / под ред. С.С. Яковлева. Тула: Изд - во ТулГУ, 2011. 232с. EDN: QNDGXX

3. Мошнин Е. Н. Технология штамповки крупногабаритных деталей [Текст]. - Москва: Машиностроение, 1973. - 240 с.: ил.; 22 см.
4. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. Екатеринбург: Уральский государственный технический университет (УПИ), 2001. 836 с. Богатов А.А. Механические свойства и модели разрушения металлов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. 329 с.
5. Аникин В. М. Справочник конструктора штампов для холодной штамповки: В. М. Аникин, Ю. С. Лукашин [Текст]. – Москва: Машгиз, 1960. - 295с.: ил.; 21 см.

УДК1(091)

ЛАЗЕРНАЯ ГИБКА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Левшонков Н.В.¹, Ахметова Ю.Ф.²

1 – к.т.н., доцент кафедры конструкций и проектирования летательных аппаратов КНИТУ-КАИ (г. Казань)

2 – Студент КНИТУ-КАИ (г. Казань)

Аннотация. Лазерная гибка — это инновационный метод, который предоставляет множество преимуществ для производителей листового металла. Благодаря высокой точности, скорости и минимальной деформации, этот метод становится незаменимым в современных производственных процессах. В данной статье представлен обзор технологии лазерной гибки листового металла. Рассмотрены основные принципы процесса, основанные на создании локального термического напряжения и пластической деформации материала. Описаны преимущества лазерной гибки по сравнению с традиционными методами формовки. Приведены примеры успешного применения лазерной гибки в различных отраслях промышленности.

Ключевые слова: Лазерная гибка, обработка металла, лазер, деталь, тонкий материал, точность, термическое напряжение автоматизация, эффективность, деформация

LASER BENDING OF SHEET METAL

Levshonkov N. V.¹, Akhmetova J. F.²

1 – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Aircraft Structures and Design KNRTU-KAI, Kazan

2 – Student of KNRTU-KAI, Kazan

Abstract. Laser bending is an innovative method that provides many advantages for sheet metal manufacturers. Due to its high accuracy, speed and minimal deformation, this method is becoming indispensable in modern production processes. This article provides an overview of the technology of laser bending of sheet metal. The basic principles of the process based on the creation of local thermal stress and plastic deformation of the material are considered. The advantages of laser bending in comparison with traditional molding methods are described. Examples of successful applications of laser bending in various industries are given.

Keywords: Laser bending, metalworking, laser, part, thin material, precision, thermal stress automation, efficiency, deformation

Введение

Лазерная гибка — это инновационный метод формовки листового металла, позволяющий создавать сложные трехмерные конструкции без использования традиционных механических инструментов, штампов и, главное, без сварки и других видов соединений.

Преимуществами этого метода являются то, что отсутствует физический контакт с материалом, исключая повреждение поверхности, что особенно важно для деликатных и предварительно обработанных материалов, нет необходимости в дорогостоящей оснастке.

Инновационные методы гибки листового металла, такие как лазерная и гидравлическая гибка, предлагают различные преимущества в зависимости от требований производства. В лазерной гибке используют тепловую энергию лазера для локальной деформации металла. Подходит

для изготовления сложных форм с высокой точностью, особенно когда важна сохранность поверхности. В гидравлической гибке используют механическое усилие, создаваемое гидравлическим прессом, для деформации металла с помощью пуансона и матрицы. Подходит для серийного производства деталей с простой геометрией, где важна высокая производительность и большая сила. Оба метода подходят для широкого спектра листовых металлов, сделанных из таких материалов, как сталь, алюминий, медь, титан, и других металлов и их сплавов.

Принцип работы лазерной гибки

Принцип работы лазерной гибки листового металла основан на создании локального термического напряжения в материале, которое приводит к его деформации и изгибу. Основные этапы и принципы:

1. Локальный нагрев. Мощный лазерный луч фокусируется на поверхности листового металла. Энергия лазерного луча поглощается материалом в зоне фокусировки, вызывая его быстрый и локальный нагрев. В зависимости от конфигурации лазерной системы и задачи, нагрев может быть точечным (для создания локальных деформаций) или линейным (для создания изгиба вдоль линии). Линейный нагрев обычно достигается путем сканирования лазерного луча по линии.

2. Создание термического напряжения. Нагретый участок металла расширяется. Окружающий, более холодный материал, ограничивает расширение нагретого участка. После прохождения лазерного луча и охлаждения нагретого участка, он сжимается и усаживается. В результате неравномерного нагрева и охлаждения возникают остаточные напряжения в материале. Эти напряжения и являются причиной деформации и изгиба.

3. Деформация и изгиб. Локальное сжатие нагретой области создает «рычаг», который приводит к изгибу листового металла. Угол изгиба зависит от нескольких факторов. Более высокая мощность приводит к большему нагреву и, следовательно, большему углу изгиба. Более медленная скорость приводит к большему времени нагрева и большему углу изгиба. Повторное сканирование одной и той же области увеличивает угол изгиба. Разные материалы имеют разные коэффициенты теплового расширения и сопротивления деформации, что влияет на угол изгиба. Более толстый материал требует большей энергии для достижения того же угла изгиба. Форма траектории сканирования определяет форму изгиба.

Параметры лазерной гибки

Типы лазерной гибки:

- 1) Температурный градиент (Temperature Gradient Mechanism – TGM). Этот механизм предполагает создание температурного градиента по толщине материала. Лазер нагревает одну сторону листа, создавая разницу температур между нагретой и холодной стороной. Разница температур приводит к усадке нагретой стороны и изгибу в сторону лазерного луча. Этот метод обычно используется для формирования вогнутых поверхностей.

2) Гибка по толщине (Bending by Thickness Difference – BTD). В этом методе лазер проходит по поверхности материала несколько раз, чтобы создать локализованную пластическую деформацию. Эта деформация приводит к изменению толщины материала в зоне воздействия, что вызывает изгиб. Обычно применяется для создания острых углов.

3) Известен метод лазерной гибки, который включает использование лазерного луча для нагрева определенных участков металлической заготовки до температуры, при которой материал становится пластичным. Затем заготовка подвергается механическому воздействию (например, с помощью пресс-формы), что позволяет выполнить гибку в нужной форме.

Факторы, влияющие на процесс:

1) Параметры лазера (мощность, частота, длина волны, режим работы (непрерывный или импульсный)).

2) Параметры сканирования (скорость, траектория, расстояние между линиями сканирования).

3) Свойства материала (теплопроводность, коэффициент теплового расширения, предел текучести, модуль упругости).

4) Окружающая среда (температура окружающей среды, наличие защитного газа (например, аргона или азота) для предотвращения окисления).

Применение лазерной гибки

Преимущества лазерной гибки:

1) Отсутствие механического контакта, что исключает повреждение поверхности и позволяет обрабатывать чувствительные материалы.

2) Высокая гибкость, которая позволяет производить гибку сложных геометрических форм без использования штампов.

3) Локальный нагрев минимизирует термическое напряжение и деформацию в остальной части детали.

4) Легко автоматизируется с использованием роботизированных систем и программного управления.

Недостатки лазерной гибки:

1) Более медленная скорость по сравнению с традиционными методами гибки.

2) Необходимость контроля параметров, что требует точного контроля параметров лазера и сканирования для достижения желаемого результата.

3) Возможность термического напряжения, так как при неправильном выборе параметров может возникнуть нежелательное термическое напряжение и деформация.

4) Ограничения по толщине материала, что снижает эффективность для очень толстых листов.

Заключение

В заключение, лазерная гибка листового металла - это сложный процесс, основанный на контролируемом создании термического

Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России

напряжения. Понимание принципов работы и факторов, влияющих на процесс, необходимо для успешного применения этой технологии.

Лазерная гибка находит всё большее применение в различных отраслях промышленности благодаря своим уникальным возможностям и преимуществам. В качестве примера можно привести применение этой технологии в автомобилестроении, где производят компоненты кузова, рам и др. деталей, в архитектуре, где изготавливают декоративные элементы интерьера и т.д.

В целом, лазерная гибка-это перспективная технология, которая продолжает развиваться и находить новые применения в различных направлениях, например, в разработке новых материалов, в совершенствовании технологий управления и др.

Список литературы

1. Металлоконструкции МСК [Электронный ресурс]// «Лазерная гибка металла в Москве». Режим доступа: <https://metallokonstrukciy.ru/blog/lazernaya-gibka-metalla> (дата обращения 22.12.2024).
2. Завод ПрофМеталлКомплект [Электронный ресурс]// «Лазерная гибка металла: что это такое и как она работает». Режим доступа: <https://zpmk.pro/company/articles/lazernaya-gibka-metalla-cto-eto-takoe-i-kak-ona-rabotaet/> (дата обращения 13.01.2025)
3. Компания СпектрЦвет [Электронный ресурс]// «Технология лазерной гибки металла». Режим доступа: <https://kazan.scmct.ru/company/blog/tehnologii-lazernoj-gibki-metalla> (дата обращения 17.01.2025)
4. Петров С.А. Листогибочный гидравлический пресс рамного типа [Текст]: пат. RU2247029C1, МПК В30В 1/32/ Петров.С.А.; заявитель Петров.С.А.- №2003118709/02 ; заявл.25.06.2003; опубл.27.02.2005.
5. Абилюсиитов Г.А., Сафонов А.Н., Микульшин Г.Ю. Лазерная гибкая производственная система [Текст]: пат. RU1811463С, Абилюсиитов Г.А., Сафонов А.Н., Микульшин Г.Ю.; заявитель Абилюсиитов Г.А.- заявл.11.02.1991; опубл.23.04.1993.

УДК 621.98

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА СОВМЕЩЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Морозов О.И.¹, Мишов Н.В.², Родионов Д.А.³, Ченакин К.Г.⁴

1 – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

2 – ассистент кафедры «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, аспирант 3 года обучения, г. Ульяновск

3 – аспирант 2 года обучения кафедры «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

4 – студент 3 курса обучения кафедры «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

Аннотация. В производственных условиях АО «Ульяновский моторный завод» проведены опытно-промышленные испытания штампового инструмента на совмещенной операции (гибка-формовка) листовой штамповки с износостойким покрытием на основе нитрида титана. Проведен анализ результатов промышленных испытаний, оценка работоспособности штампового инструмента с износостойким покрытием на совмещенной операции гибки-формовки.

Ключевые слова: стойкость, износ, покрытия, нитрид титана, пуансон, листовая штамповка, совмещенные операции, гибка, формовка

INDUSTRIAL TESTING OF STAMPING TOOLS FOR COMBINED SHEET STAMPING OPERATIONS

Morozov O.I.¹, Mishov N.V.², Rodionov D.A.³

1 – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Materials Science and Engineering, UlSTU, Ulyanovsk

2 – Assistant of the Department of Materials Science and OMD at UlSTU, 3-year postgraduate student, Ulyanovsk

3 – post-graduate student of 2 years of study at the Department of "Materials Science and OMD" UlSTU, Ulyanovsk

4 – student of 3 years of study at the Department of "Materials Science and OMD" UlSTU, Ulyanovsk

Abstract. In the production conditions of JSC Ulyanovsk Motor Plant, pilot industrial tests of a stamping tool were carried out on a combined operation (bending-forming) of sheet stamping with a wear-resistant coating based on titanium nitride. An analysis of the results of industrial tests and an assessment of the performance of a die tool with a wear-resistant coating on a combined bending and forming operation has been carried out.

Keywords: durability, wear, coatings, titanium nitride, punch, sheet stamping, combined operations, bending, molding

Процессы холодной штамповки характеризуются интенсивным упрочнением металлов, увеличением сопротивления деформирования, и, как следствие, низким уровнем стойкости штампового инструмента.

Основными причинами повышенного износа рабочих поверхностей штампового инструмента являются высокий уровень контактных напряжений, неравномерно распределенных по рабочей поверхности штампа, дефектность кристаллической решетки металла и ее

неблагоприятная ориентация по отношению к направлению максимальных напряжений. Таким образом, задача повышения стойкости и увеличения эксплуатационного ресурса рабочих поверхностей штампового инструмента является актуальной задачей [1-3].

В производственных условиях АО «Ульяновский моторный завод» совместно с лабораторией «Износостойкие покрытия» ФГБОУ ВО УлГТУ были проведены опытно-промышленные испытания штампового инструмента листовой штамповки с износостойким покрытием TiN (нитрид титана) при изготовлении детали «Сухарь клапана» №3162-4185489 (рис. 1) на совмещённой операции формовки и гибки.



Рисунок 1. Сухарь клапана

Выбор детали «Сухарь клапана», а также рабочего инструмента при ее изготовлении определялся низкой стойкостью рабочей части пуансона без покрытия (60 тыс. деталей согласно производственной документации АО «Ульяновский моторный завод»), что характеризует недостаточную эффективность его использования при изготовлении детали по чертежу при обеспечении высокой работоспособности инструмента. Материал детали – сталь 45 ГОСТ 8733-87, материал инструмента (пуансона) – быстрорежущая сталь Р6М5 ГОСТ 2590-88. Пуансон подвергался термообработке – закалка и отпуск, твердость – 62 HRC. На рис.2 представлен пуансон без покрытия – исходный.

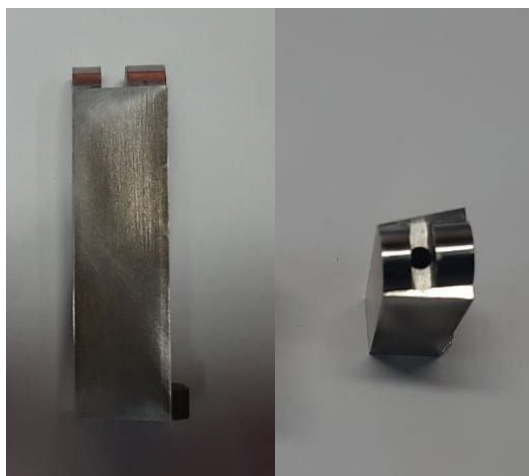


Рисунок 2. Фото пуансона

Использовано износостойкое покрытие – TiN (нитрид титана), толщина покрытия – (2-3) мкм. Покрытие наносилось на установке «Булат-3» (ФГБОУ ВО УлГТУ, г. Ульяновск, лаборатория «Износостойкие покрытия»). Перед нанесением износостойкого покрытия рабочие поверхности штампового инструмента подвергали шлифованию до 7 квалитета точности и полировке рабочих поверхностей алмазными пастами мелкой зернистости (тип АМ1, АСМ1, АМ5, АСМ5, зернистость - 1/0,5 - 0,1/0 мкм). После нанесения износостойкого покрытия комплект штампового инструмента эксплуатировался в рабочем режиме предприятия АО «Ульяновский моторный завод»

В рамках экспериментальных испытаний было определено максимальное количество деталей/ударов работы инструмента с покрытием (93 тыс деталей). Критерием работоспособности пуансона являлось получение детали согласно чертежу до максимальной выработки рабочей поверхности инструмента (геометрические параметры, а также шероховатость поверхности).

На рисунке 3 представлены гистограммы износа штампового инструмента без покрытия и с износостойким покрытием TiN на совмещенной операции гибки и формовки. По оси Y представлено количество рабочих циклов инструментальной оснастки до затупления режущей кромки.

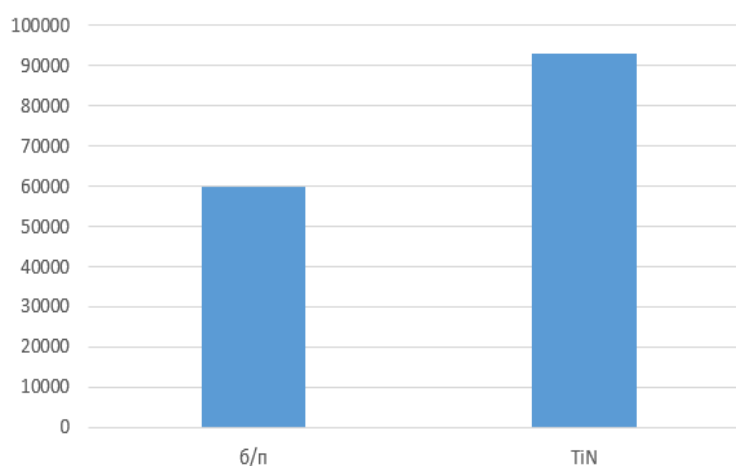


Рисунок 3. Гистограммы износа штампового инструмента

Опытно-промышленные испытания, проведённые на АО «Ульяновский моторный завод», позволили сделать вывод, что применение износостойкого покрытия TiN с целью повышения стойкости штамповой оснастки на совмещенной операции гибки-формовки приводит к увеличению ресурса рабочей поверхности штампового инструмента на 50%.

Список литературы

1. Табаков В.П. Повышение стойкости штампового инструмента с износостойким покрытием на формоизменяющих операциях / В.Н. Кокорин, Е.Л. Корняков, О.И. Морозов, А.С. Алешин, Д.И. Сагитов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2020. - № 6. - С. 352—358.
2. Морозов О.И. Исследование эффективности использования износостойких покрытий на основе нитрида титана с целью повышения стойкости штампового инструмента / Табаков В.П., Кокорин В.Н., Морозов Д.И. // Инновационные технологии в машиностроении. Сборник трудов Международной научно-практической заочной конференции. Ульяновск, УлГТУ, 2022. С. 111-118.
3. Кокорин В.Н. Анализ промышленных испытаний деформирующего холодновысадочного инструмента / Морозов О.И., Мишов Н.В., Трещев А.Ю., Шариков П.П., Тякунов О.С. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 12. С. 611-616.

УДК 621

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ МЕТОДОМ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Нестеренко Е. С.¹, Синичкин А.С.²

1 – доцент кафедры ОМД, к.т.н. «Самарский университет», г. Самара

2 – студент «Самарский университет», г. Самара

Аннотация. В данной статье было выполнено моделирование процесса вытяжки детали типа «стаканчик» с жесткими и упругими элементами в программе LS-Dyna. Проведен анализ и сравнение результатов моделирования процесса вытяжки с результатами эксперимента.

Ключевые слова: вытяжка, упругий элемент, разнотолщинность, интенсивность напряжений.

MODELING AND RESEARCH DRAWING PROCESS WITH METHOD OF SHEET METAL COLD STAMPING

Нестеренко Е. С.¹, Синичкин А.С.²

1 – PhD «Samara university», Samara

2 – student «Самарский университет», Samara

Abstract. In this article, a simulation of the drawing process of a "cup" type part with rigid and elastic elements was performed in the LS-Dyna program. The analysis and comparison of the simulation results of the extraction process with the experimental results is carried out.

Key words: drawing, elastic element, thickness difference, stress intensity

В различных промышленных сферах, включая автомобильную и аэрокосмическую отрасль, наблюдается значительное распространение изделий из листового металла. Это обуславливает актуальность задачи для инженеров-конструкторов и технологов - повышение качества выпускаемой продукции [1].

Холодная листовая штамповка обеспечивает высокую производительность; уменьшение отхода; высокое качество поверхности изделий; методы холодной листовой обработки легко поддаются автоматизации. Частным случаем холодной листовой штамповки является процесс вытяжки. Вытяжка представляет собой процесс превращение плоской заготовки в полую деталь любой формы (цилиндрической, коробчатой и т.д.) [2].

Штамповка деталей не всегда приводит к удовлетворительным результатам. В процессе вытяжки возникает большая величина разнотолщинности и гофрообразование [3]. Так же процесс вытяжки выполняют в несколько переходов (операций), между которыми необходимо проводить термическую обработку заготовки – отжиг, что позволяет получить большую глубину вытяжки без разрушения. Сокращение количества переходов в процессе вытяжки, и следовательно, повышение производительности являются одними из актуальных проблем.

Для решения данных задач и для уменьшения негативных явлений может быть применен метод вытяжки с упругими элементами [4].

Этот способ обеспечивает:

1. Улучшения качества поверхности изделия.
2. Снижение интенсивности напряжений и деформаций в заготовке.
3. Повышение предельного коэффициента вытяжки (нет необходимости производить отжиг).

На рисунке 1 представлена схема основных элементов вытяжного штампа.

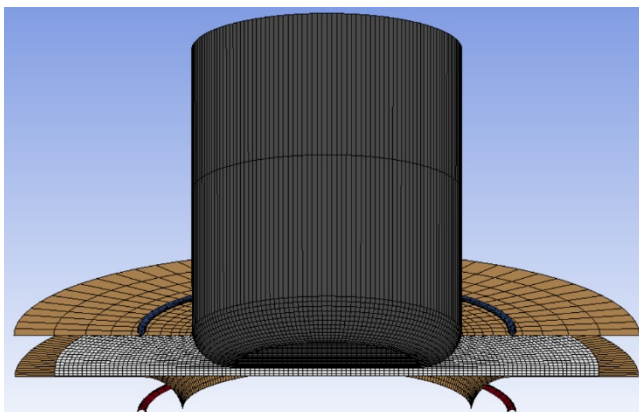


Рисунок 1. Схема вытяжного штампа

Суть метода заключается в прилегании по всей поверхности фланца упругих элементов – матрицы и прижима в течение всего процесса вытяжки.

Прижим и матрица выполнены в виде металлических колец, обеспечивающих упругие перемещения, позволяющие прижать фланец заготовки с необходимым давлением по всей его поверхности. Матрица установлена на неподвижное опорное кольцо.

Моделирование процесса было выполнено в программе LS-Dyna.

В таблице 1 указаны размерности согласованных единиц измерений, необходимые для правильного расчета модели.

Деформации подвергалась заготовка материала 12X18H10T с соответствующими физико-механическими свойствами: плотность $7,92 \cdot 10^{-9}$ т/мм³, модуль Юнга $1,98 \cdot 10^5$ МПа, предел прочности 530 МПа, предел текучести 205 МПа, тангенциальный модуль (E_{tan}) 1579 МПа.

Таблица 1. Согласованные единицы измерения

масса	длина	время	усилие	напряж.	плотн.	мод. Юнга
тонна	мм	с	Н	МПа	$7,92 \cdot 10^{-9}$	$1,98 \cdot 10^5$

Свойства материала оснастки, в том числе упругих элементов, Х12МФ: плотность $7,8 \cdot 10^{-9}$ т/мм³, модуль Юнга $2,2 \cdot 10^5$ МПа, предел прочности 1100 МПа, предел текучести 900 МПа, тангенциальный модуль (E_{tan}) 2304 МПа.

Коэффициент пуассона для материала оснастки и заготовки равен 0,25, коэффициент трения 0,12.

Модель материала заготовки – упруго-пластическая (plastic_kinematic), оснастки – жесткая (rigid). Деформация заготовки обеспечивается заданным перемещением жесткого пуансона на 25 мм вдоль оси Z. Матрица и прижим деформируются упруго кольцами с фиксированным перемещением по оси Z, оказывая необходимое давление на фланец заготовки. Кольца перемещаются на длину зазора между кольцами и заготовкой равной 0,2 мм.

Для увеличения скорости расчета использовался неявный (implicit) тип решателя.

Для сравнения смоделированы два варианта вытяжки с применением жесткого прижима и матрицы и упругой матрицы и прижима. Также результаты моделирования были сравнены с экспериментом.

На рисунке 2 и 3 представлен график толщины заготовки по образующей при вытяжке с жесткими элементами и упругими элементами соответственно.

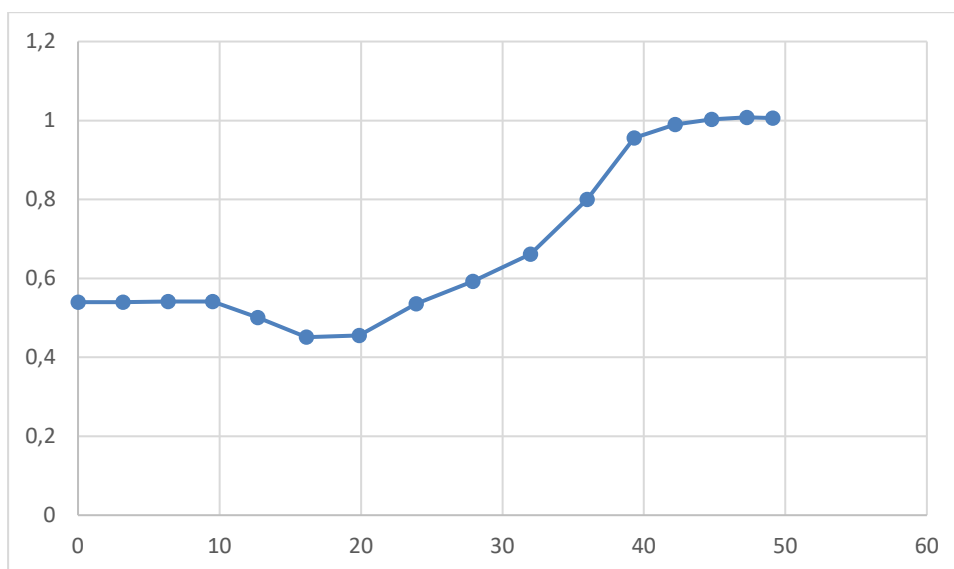


Рисунок 2. Значения толщины заготовки по длине образующей при вытяжке с жесткими элементами ($D_{\text{заг}} = 66$ мм, $S_{\text{заг}} = 1$ мм, $S_{\text{max}} = 1,008$ мм, $S_{\text{min}} = 0,451$ мм)

Максимальная толщина заготовки равна 1,008 мм, минимальная – 0,451 мм. Разнотолщинность составила 55,7%.

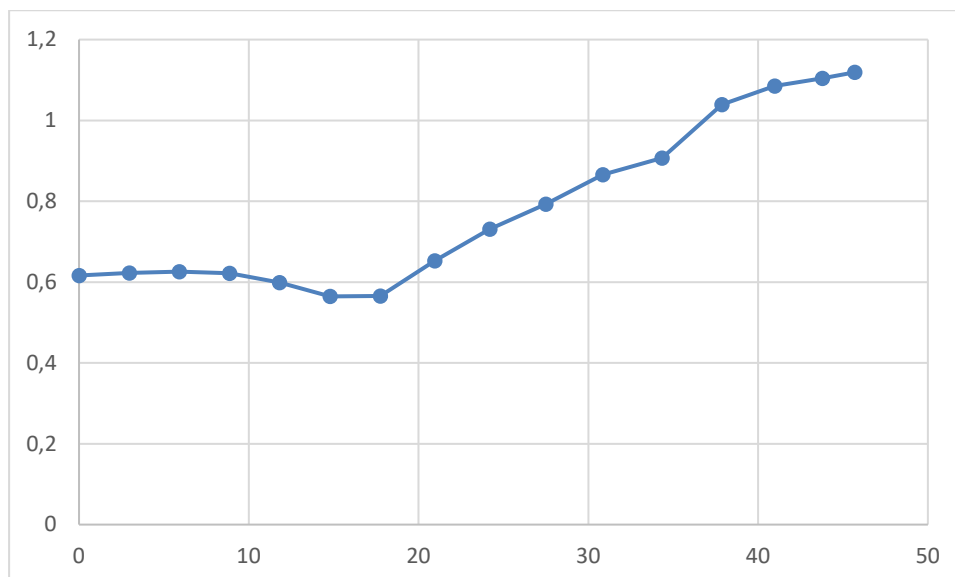


Рисунок 3. Значения толщины заготовки по длине образующей при вытяжке с упругими элементами ($D_{\text{заг}} = 66$ мм, $S_{\text{заг}} = 1$ мм, $S_{\text{max}} = 1,119$ мм, $S_{\text{min}} = 0,565$ мм)

Максимальная толщина заготовки равна 1,119 мм, минимальная – 0,565 мм. Разнотолщинность в этом случае составила 55,4%. Из рисунка видно, что толщина распределяется более равномерно, чем в штампе с жесткими элементами. Толщина в опасном сечении больше, чем в предыдущем варианте.

Из полученных графиков можно сделать вывод: разнотолщинность достигается меньше с упругими элементами. Более явное различие возможно при большем времени расчета.

Рассмотрим распределение интенсивности напряжений.

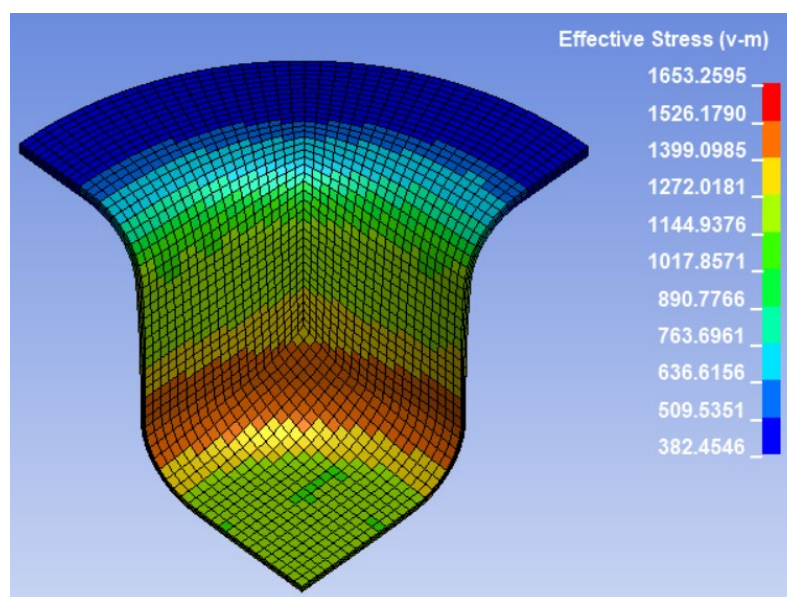


Рисунок 4. Значения интенсивности напряжений при вытяжке с жесткими элементами ($\sigma_{\text{max}} = 1653$ МПа, $\sigma_{\text{min}} = 382$ МПа)

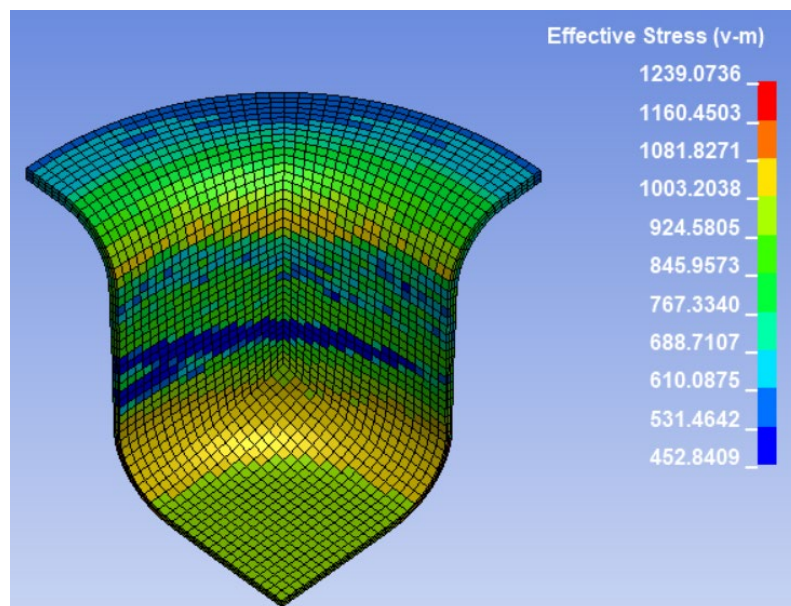


Рисунок 5. Значения интенсивности напряжений при вытяжке с упругими элементами ($\sigma_{\max} = 1239$ МПа, $\sigma_{\min} = 452$ МПа)

На рисунке 4 напряжение на опасном участке (переход цилиндрической в донную часть) составляет от 1500 до 1600 МПа и является максимальным для данного варианта. На рисунке 5 напряжение в опасном участке меньше и лежит в пределах от 1000 МПа до 1200 МПа. На обоих рисунках напряжения превышают предел прочности материала заготовки, связано это, прежде всего, с малым временем расчета.

Рассмотрим результаты эксперимента с теми же вводными: $D_{\text{заг}} = 66$ мм, $S_{\text{заг}} = 1$ мм. Усилие прижима $Q = 4$ кН.



Рисунок 6. Глубина вытяжки исследуемых заготовок

При вытяжке с жесткими элементами были получены следующие данные: усилие вытяжки $P = 84,25$ кН, максимальная глубина вытяжки $h = 19,89$ мм. В опасном сечении образовался разрыв.

При вытяжке с упругими элементами были получены значения: усилие вытяжки $P = 76,05$ кН, максимальная глубина вытяжки $h = 33,01$ мм.

Вырос предельный коэффициент вытяжки, что позволило увеличить глубину вытяжки. Присутствуют гофры.

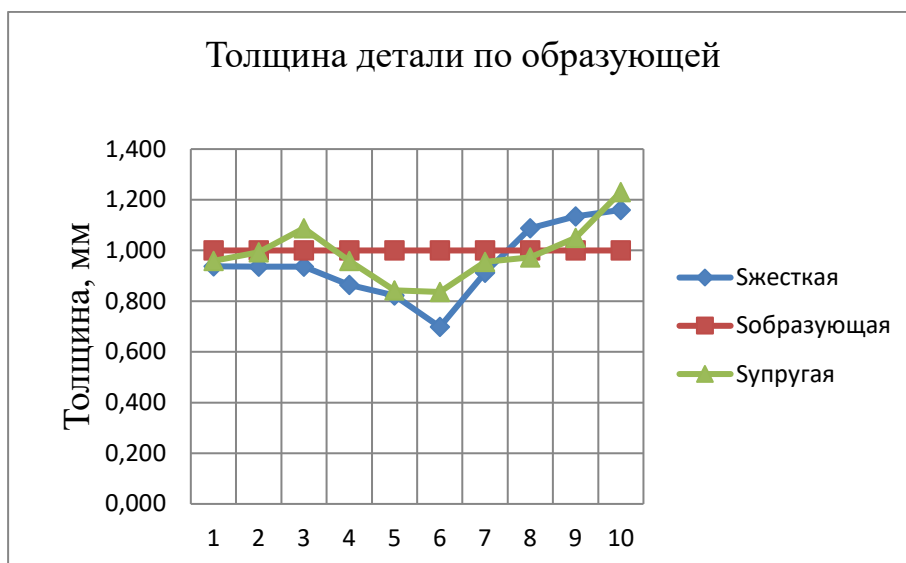


Рисунок 7. График толщин заготовки в эксперименте

Разнотолщинность с жесткими элементами составляет 46%, с упругими – 39,5%.

Выполнив анализ результатов моделирования, и сравнив их с экспериментными, можно сделать вывод, что не смотря на малое время расчета готовая модель вытяжки удовлетворяет результатам исследования. Эксперимент подтвердил верность модели процесса вытяжки. Модель с упругими прижимом и матрицей показала лучшие результаты по сравнению с моделью с жесткими элементами.

Список литературы

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке [Текст]: учебник для высших технических учебных заведений и техникумов/В.П. Романовский. – Л.: Машиностроение, 1979.
2. Рудман, И.Л. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка [Текст]: для инженеров-конструкторов штампов листовой штамповки и технологов листоштамповочного производства /В.Л. Марченко, Л.И. Рудман, А.И. Зайчук и др – М.: Машиностроение, 1988.
3. Мельников Э.Л. Холодная штамповка днищ [Текст]: Научная и учебная литература/ Э.Л. Мельников - 2-е изд., перераб., доп. - Москва : Машиностроение, 1986.
4. Патент №2494830 Российская Федерация, МПК В21D 22/20. Штамп для глубокой вытяжки осесимметричных деталей : №2011149621/02 : заявле. 06.12.2011 : опубл. 10.10.2013/ Попов И. П., Нестеренко Е. С., Кузина А. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИБКИ МЕТОДОМ ХЛШ

Нестеренко Е.С.¹, Трифонов А.И.²

1 – доцент кафедры ОМД, к.т.н. «Самарский университет», г. Самара

2 – студент «Самарский университет», г. Самара

Аннотация. В статье представлены результаты проведенного исследования процесса гибки с использованием программного продукта Ansys/LS-DYNA. Произведён анализ напряжённо-деформированного состояния после деформации, а также сравнение угла пружинения с экспериментом.

Ключевые слова: заготовка, гибка, штамп, угол пружинения, радиус гибки, материал.

RESEARCH AND MODELING OF THE BENDING PROCESS BY THE HLSH METHOD

Nesterenko E.S.¹, Trifonov A.I.²

1 – PhD «Samara university», Samara

2 – student «Самарский университет», Samara

Abstract. The article presents the results of a study of the bending process using the Ansys/LS-DYNA software product. The stress-strain state after deformation is analyzed, as well as the comparison of the spring angle with the experiment.

Keywords: workpiece, bend, stamp, spring angle, bend radius, material.

Введение. Гибка представляет собой процесс, в ходе которого заготовка подвергается пластической деформации с целью достижения определённого угла или радиуса изгиба. Этот метод находит широкое применение в различных промышленных секторах, включая машиностроение, авиацию, судостроение и строительство.

Во процессе гибки происходит перераспределение внутренних напряжений в материале, что приводит к изменению его формы. Для успешного выполнения этого процесса необходим тщательный анализ и расчёт технологических параметров, чтобы избежать возникновения дефектов и гарантировать высокое качество готовых изделий.

Моделирование штампа. Для того чтобы проанализировать процесс гибки необходимо смоделировать штамп. Для этого воспользуемся программным продуктом Ansys/LS-DYNA в котором смоделируем пуансон, матрицу, заготовку и жёсткий элемент. Уголгиба составляет 30° , радиусгиба 5мм. Схема представлена на рисунке 1.

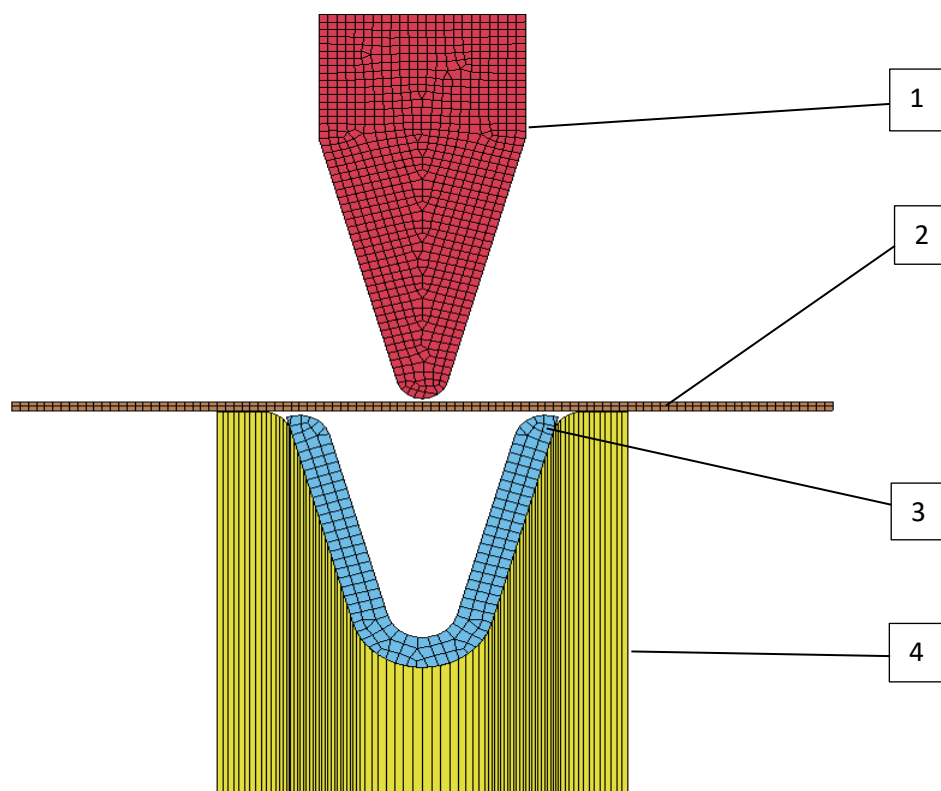


Рисунок 1. Сборка: 1- пуансон, 2- заготовка, 3- жёсткий элемент, 4- матрица

В процессе моделирования процесса гибки, пуансон прикладывает усилие на заготовку, вследствие чего заготовка изгибается и перемещается в матрицу, где уже находится жёсткий элемент рисунок 2.

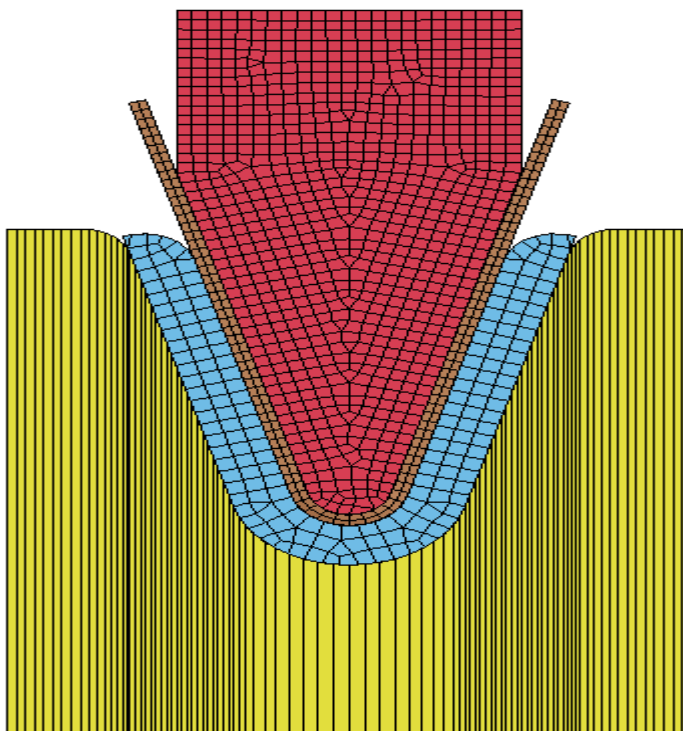


Рисунок 2. Деформируемая заготовка до снятия усилия

Материал. В качестве материала заготовки мы использовали титановый сплав ОТ4. Титан — это лёгкий и прочный металл, который отличается высокой коррозионной стойкостью и находит широкое

применение в различных промышленных сферах. Кроме того, он используется в качестве материала для заготовок при гибке.

Преимущества титана как материала для гибки: 1- Прочность. Титан отличается высокой прочностью, что позволяет ему справляться с большими нагрузками без деформации или разрушения. Благодаря этим свойствам он является отличным материалом для применения в авиационной, космической и военной отраслях, где необходимы надежные и долговечные компоненты. 2- Лёгкость. Несмотря на свою прочность, титан также является лёгким металлом, что снижает общий вес конструкции и улучшает её производительность. 3- Коррозионная стойкость. Титан не подвержен коррозии, что делает его идеальным материалом для применения в условиях высокой влажности или агрессивных сред.

Механические свойства материала ОТ4: 1- Предел прочности 700 МПа. 2- Предел текучести 600 МПа. 3- Относительное удлинение 11%.

Исследование напряжённо-деформированного состояния. Изучение напряжённо-деформированного состояния заготовки в процессе гибки является важным этапом исследования. Процесс гибки титановых сплавов представляет собой сложную задачу так как сплав обладает высокой прочностью и жесткостью.

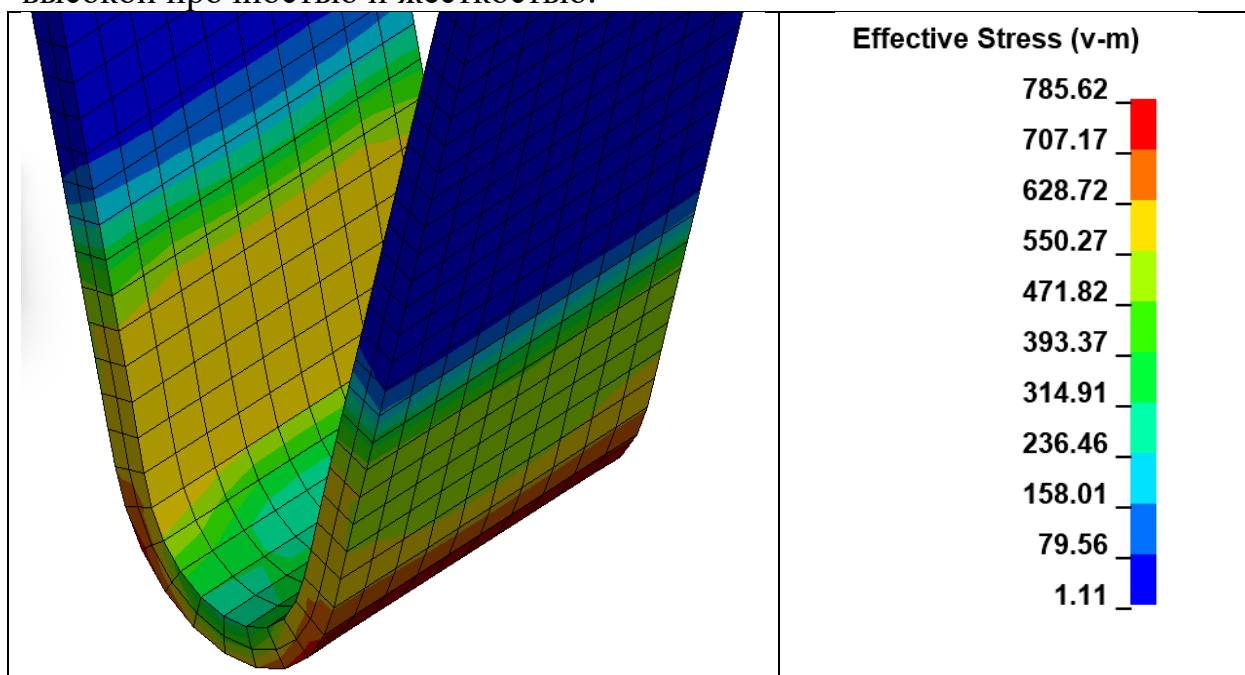


Рисунок 3. Напряжённо-деформированное состояние детали в штампе

В очаге деформации мы видим растягивающие и сжимающие напряжения. На рисунке 3 мы видим, что согласно диаграмме растягивающие напряжение преобладают над сжимающими.

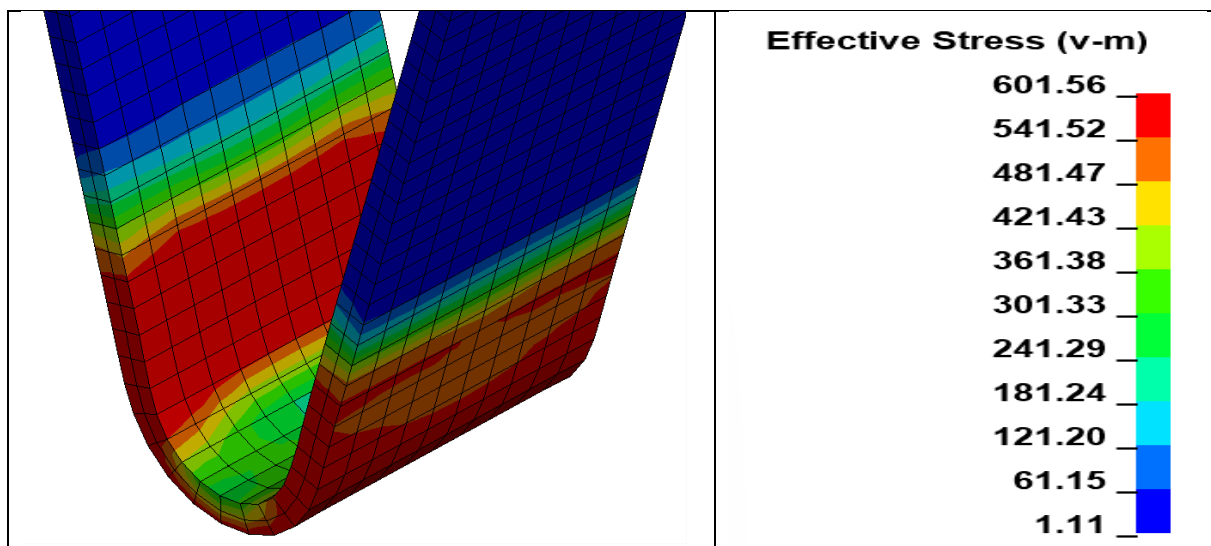


Рисунок 4. Напряжённно-деформированное состояние заготовки после извлечения из штампа

После извлечения детали из штампа преобладают растягивающие напряжения, но интенсивность деформации стала меньше, а площадь воздействия стала больше.

Сравнение с экспериментом. Ключевой задачей было сравнение с процессом гибки с жёстким элементов в программном комплексе Ansys/LS-DYNA с экспериментом.

На рисунке 5 представлена деталь после процесса моделирования с эффектом пружинения.

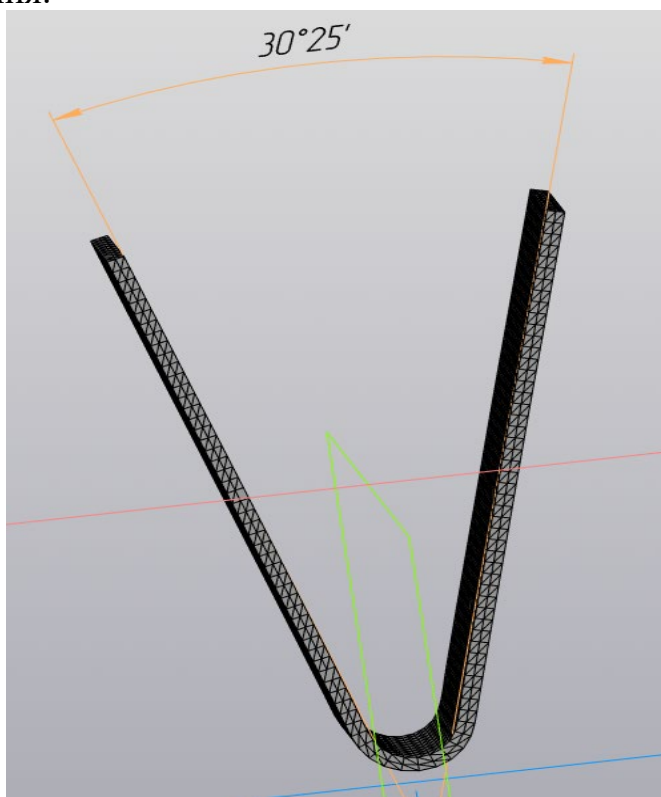


Рисунок 5. Деталь в процессе моделирования

Для того чтобы измерить угол пружинения более точно, экспортируем деталь в программный продукт КОМПАС-3D и измеряем угол. Угол пружинения составляет $0^{\circ}25$ градуса.

Экспериментальные исследования проведены на гидравлическом прессе. Результат представлен на рисунке 6.



Рисунок 6. Уголгиба в процессе эксперимента

Из эксперимента видно, что угол пружинения составил $0^{\circ}43$ градуса, что по сравнению с моделированием отличается всего на $0^{\circ}18$ градуса.

Вывод. В процессе моделирования была произведена операциягиба из заготовки ОТ4. Было исследовано напряжённо-деформированное состояние в очаге деформации, как до пружинения, так и после. С помощью программных продуктов был рассчитан и измерен угол пружинения. Был проведён эксперимент, а также мы сравнили его с тем, что получили в моделирование и отличие было не существенным.

Список литературы

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке [текст] / справочное издание / В.П.Романовский, Н.З. Симоновский, Л.В. Щетинина. – Л.: Машиностроение, 1979. – С.80-214 с.
2. Сторожев, М.В. Теория обработки металлов давлением [текст] / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. - М.: Машиностроение, 1977. — 423 с.
3. В настоящее время разрабатываются новые виды упругих элементов, которые будут внедряться в оснастку. Глушников В. А. Специальные виды штамповки. Часть 1. Штамповка эластичными средами: учеб. пособие / В А. Глушников. - Самара: Изд-во Самара, гос. аэрокосм, ун-та, 2008,- 72 с.

Секция 2

**«Инженерный анализ
и автоматизация»**

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СМЫКАНИЯ ХИРУРГИЧЕСКИХ НОЖНИЦ

Баранов М. В.¹, Панышев Н. Н.², Каневский Г. Н.³, Ежов В.М.⁴

1 – генеральный директор, ПАО «Медико-инструментальный завод им. М. Горького»

2 – начальник СКБ, ПАО «Медико-инструментальный завод им. М. Горького»

3 – кандидат технических наук, доцент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева

4 – инженер-конструктор, ПАО «Медико-инструментальный завод им. М. Горького»

Аннотация. Предметом исследования является процесс работы хирургических ножниц. Сформулированы основные требования к медицинскому инструменту, в частности, к качеству работы хирургических ножниц. Выделены основные параметры брани и лезвий, влияющих на качество разрезания и усилия в контакте лезвий. Разработана методика конечно-элементного анализа физических параметров при контактном взаимодействии поверхностей механизма ножниц. Выполнено исследование в динамике силовых факторов на поверхности режущих кромок лезвий в процессе их смыкания. Результаты исследования предназначены для разработчиков медицинского инструмента

Ключевые слова: медицинский инструмент, хирургические ножницы, исследование, метод конечных элементов, лезвия и брани.

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THE SURGICAL SCISSORS CLOSURE PROCESS

Baranov M.V.¹, Panyshev N. N.², Kanevsky G. N.³, Yezhov V. M.⁴

1 – General Director, PJSC "M. Gorky Medical and Instrumental Plant"

2 – head of the Special Design Department,

3 – candidate of Technical Sciences, Associate Professor Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev

4 – design engineer, PJSC "M. Gorky Medical and Instrumental Plant"

Abstract. The subject of the study is the process of surgical scissors operation. The basic requirements for a medical instrument and, specifically, for the quality of surgical scissors are formulated. The main parameters of the branches and blades that affect the quality of cutting and the forces in the contact of the blades are highlighted. A method of finite element analysis of the physical parameters of the contact interaction of the surfaces of the scissor mechanism has been developed. The study of force factors on the surface of the cutting edges of the blades in the dynamic process of their closure is carried out. The results of the study are intended for developers of a medical instrument.

Key words: medical instrument, surgical scissors, research, finite element method, blades and branches.

Математический аппарат моделирования и расчетов, основанный на методе конечных элементов (МКЭ), уже многие годы используется при проектировании и исследовании и, главным образом, для анализа напряженно-деформированного анализа деталей, узлов и технологических процессов пластических деформаций в различных профессиональных областях. Применение МКЭ обеспечивает получение более полной и точной информации о состоянии технического объекта и, что особенно важно,

позволяет это сделать в процессе его функционирования и изменения геометрических и физико-механических свойств.

В данной статье изложен именно такой подход и результаты исследования при взаимодействии в процессе работы точных элементов медицинского инструмента применительно к хирургическим ножницам.

Общие требования к хирургическому инструменту изложены в нормативных документах [1] и ориентированы на обеспечение твердости, качества поверхности, режущих свойств и коррозионной стойкости. В отличие от однолезвийного инструмента качество разрезки хирургическими ножницами во многом зависит от плотности контакта обеих лезвий, которые находятся в постоянном и, главное, подвижном контакте. В зависимости от геометрического профилирования лезвий по их длине могут наблюдаться как зоны зазоров, так и натягов в процессе их контакта. При этом меняются нагрузочные и износостойкие характеристики ножниц и качество разрезки тканей. Поэтому форма лезвий по длине изменяется и имеет подвороты и подгибки.

Накопленный теоретический и практический опыт производства хирургических ножниц основан на исследованиях в области металловедения и технологических особенностей, повышающих качество металла лезвий. Проектирование самой геометрии режущих частей традиционно носит устаревший интуитивно-расчетный характер, основываясь на имеющемся опыте. Специальных исследований, позволяющих оптимизировать форму лезвий и добиться желаемых нагрузочных характеристик, не проводилось. Такие исследования, особенно в динамике, в процессе смыкания лезвий, позволяют выйти на новый уровень проектирования и оценки качества работы ножниц.

Целью данной работы являлось разработка методики и проведение исследований нагрузочных характеристик в точках контакта лезвий в процессе их смыкания, основанные на специальном математическом аппарате, и позволяющие смоделировать процесс смыкания лезвий и получение силовых характеристик в точках контакта. В конечном итоге результаты исследования позволяют оптимизировать геометрию лезвий с точки зрения их износостойкости.

Состояние вопроса и методика исследований.

Анализ состояния вопроса показывает отсутствие исследований по узкой теме работы. Существующие литературные данные касаются различных вопросов создания и исследований медицинского инструмента : анализа геометрии и режущей способности лезвий, влияния жесткости и дефектов лезвий [6, с.56], проработки требований к хирургическому инструменту, условий работы и особенностей конструкций инструмента [2, 4, 7, 8]. Большое внимание уделяется исследованиям химических, физико-механических свойств и покрытий медицинского инструмента [3], условий эксплуатации [4].

Имеются экспериментальные работы [9], в которых описано оборудование по измерению остроты лезвий, а также величины износа лезвий на специальных стендах. Но эти методики зависят от конкретной конструкции ножниц, требуют высокой квалификации экспериментатора и тонкой методики исследования.

Таким образом, весьма актуально развитие работ в области исследований процесса функционирования ножниц на основе методов математического моделирования.

Качество работы ножниц должно быть описано параметрически, однозначно, в форме технического задания для разработки и производства. В то же время значения рабочих параметров ножниц могут существенно меняться в зависимости от изменения геометрических взаимосвязей внутри конструкции, что трудно учесть на этапе проектирования и труднодостижимо на этапе производства. Кроме того, наиболее важные параметры практически неподконтрольны методам прямых измерений. Поэтому важным является определение функциональных параметров ножниц в связи с особенностями их конструктивных элементов, а также разработка методик контроля указанных параметров на готовом изделии. Многие важные параметры до сих пор остаются неизвестными или практически неопределяемыми. Среди них:

- оптимальный радиус режущей кромки;
- требуемое усилие между браншами в точке их контакта;
- требуемое распределение усилия при перемещении точки контакта при резании;
- требуемый начальный зазор между браншами;
- оптимальные формы подгибки лезвий и другие.

Отлаженная многолетняя технология как проектирования, так и изготовления ножниц, основанная на использовании традиционного устаревшего оборудования, не позволяет оптимизировать эти параметры.

Предлагается новый подход к исследованию параметров хирургических ножниц в процессе смыкания лезвий, основанный на МКЭ с явной динамикой в формулировке Лагранжа. Анализ производится на основе твердотельной 3D модели ножниц, учитывающей все особенности их конструкции. Данный метод позволяет изучить физику процесса работы ножниц «изнутри», показав скрытые параметры, которые недоступны для методов физических измерений. Кроме того, он позволяет также целенаправленно вносить изменения в конструкцию (3D модель) и непосредственно наблюдать отражение этих изменений в параметрах функционирования. Данный метод учитывает физические свойства материалов с учетом критерия разрушения Кокрофта-Латама, процесс трения, а также упругую и пластическую деформации.

Разработанная методика конечно-элементного анализа физических параметров контактного взаимодействия поверхностей механизма ножниц позволяет анализировать поверхности режущих кромок в процессе их

смыкания как между собой, так и с разрезаемым материалом с учетом его разрушения. Возможны также исследования процесса износа режущих кромок. При этом появляется возможность непосредственно получать количественную информацию, которую нельзя или очень сложно оценить экспериментально. Также, меняя геометрические или исходные параметры, можно выполнить варианты исследования и получить необходимый объем данных для выработки решений по совершенствованию конструкции ножниц.

Рассмотрим результаты такого исследования на примере хирургических ножниц, производимых на ПАО МИЗ им. М.Горького (рис.1). Материал лезвий ножниц – 40Х13. Твердость лезвий – HRC 51 - 59.



Рисунок 1. Хирургические ножницы как объект исследования

Анализ конструкции ножниц выполнялся по разработанной 3D модели. Основными элементами конструкции ножниц, от наличия и геометрии которых зависит их работоспособность, являются:

1. Лезвия с режущими кромками должны иметь подгиб и подворот для обеспечения касания режущих кромок в одной точке. Обеспечивается за счет разных углов подворота лезвий вдоль их длины (от 1^0 до 6^0 вдоль длины лезвия), а также угла подгиба в 1^0 на длине лезвия, рис.2.
2. Радиус режущих кромок, обеспечиваемый при заточке лезвий, рис. 3.
3. Поверхности скольжения винта (Шар), рис. 4а.
4. Поверхности скольжения бранш (Луна), рис. 4б.

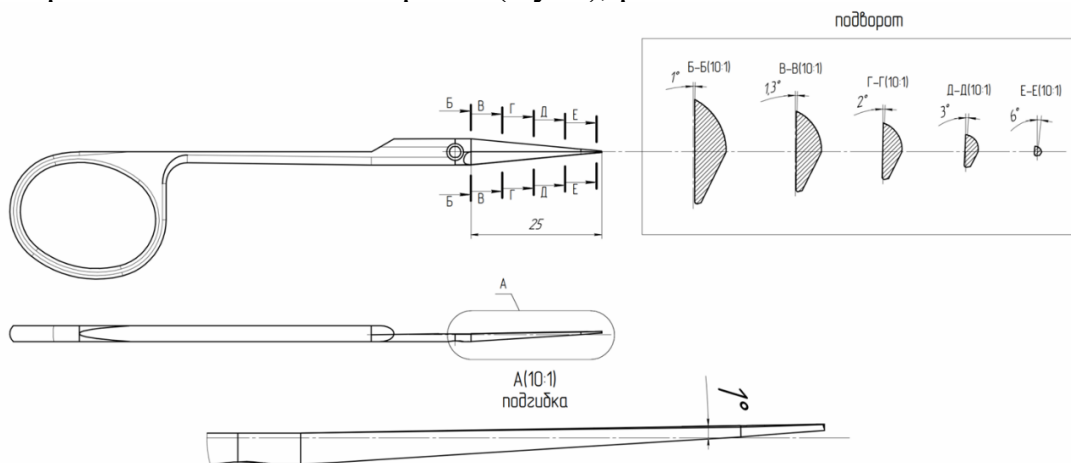


Рисунок 2. Лезвия с режущими кромками

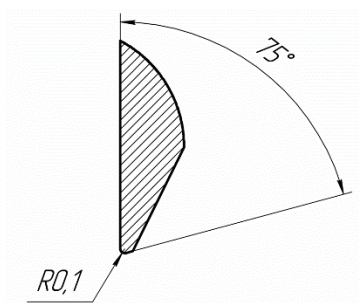


Рисунок 3. Радиус режущих кромок

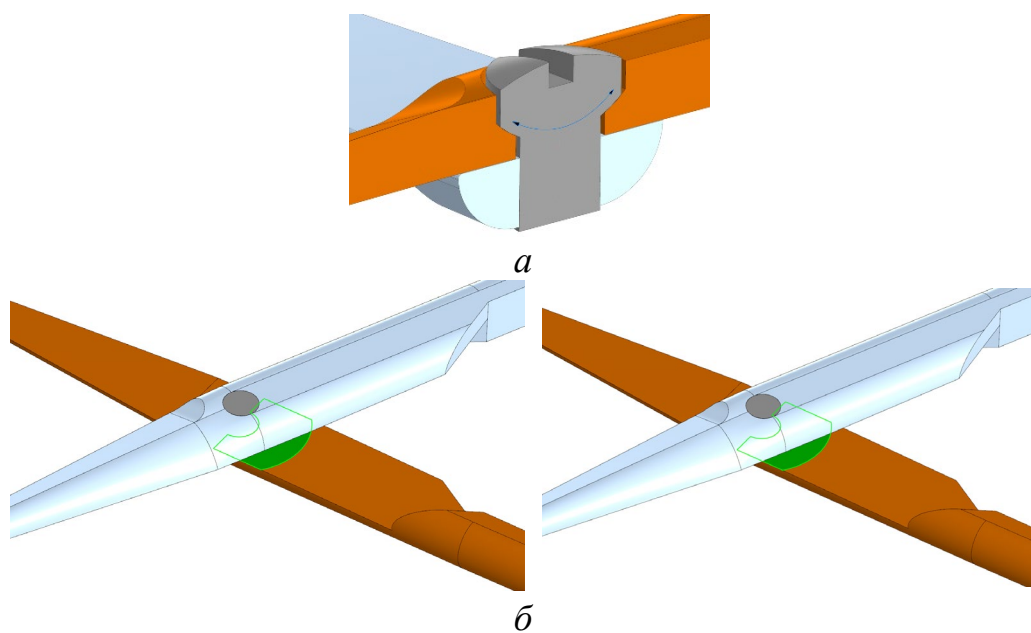


Рисунок 4. Поверхности Шар (а) и Луна (б)

5. Начальный зазор между поверхностями скольжения, рис. 5

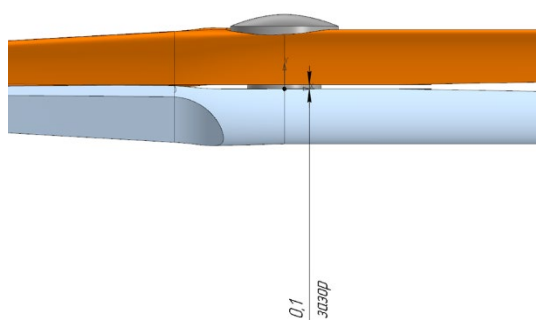


Рисунок 5. Конструктивный зазор

6. Угол и положение точки начального контакта режущих кромок, рис.6а.

7. Угол завершения смыкания бранш, рис. 6б.

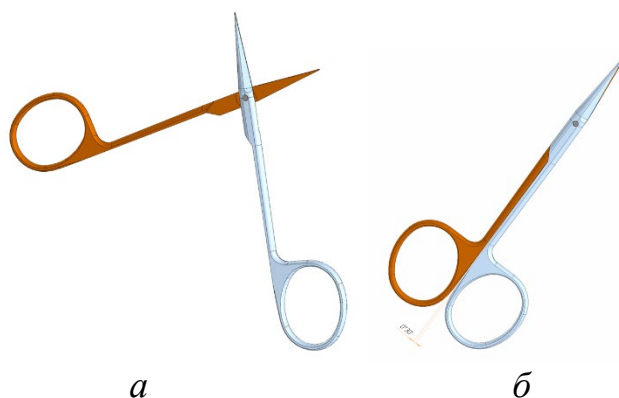


Рисунок 6. Углы смыкания бранш
а – начальный 80° , б- конечный 0°

Рассмотрим основные конструктивные особенности и их влияние на качество работы.

При холостом смыкании лезвий ножниц из-за их изогнутости происходит упругая деформация лезвий. При этом возникает нагрузка в точке контакта режущих кромок, которая передается на опоры (шарниры) бранш. Схематично браншу можно представить как балку на двух опорах (рис.3), воспринимающих эту нагрузку из условия равновесия балки.

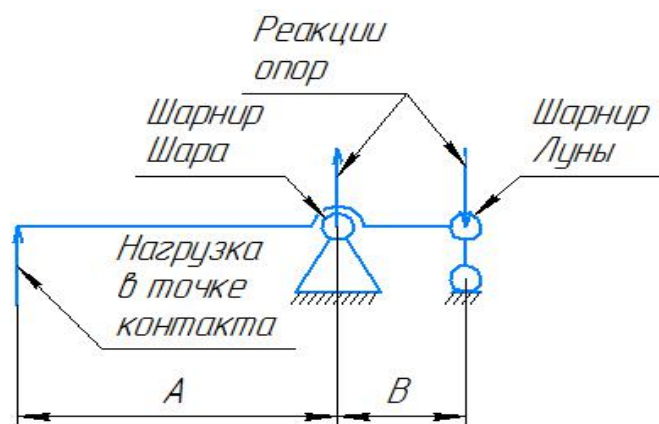


Рисунок 7. Схема действия нагрузок

При смыкании лезвий меняется расстояние от точки контакта до шарнира (A). В соответствии с конструкцией расстояние B постоянно и имеет малую по сравнению с плечом A величину. В процессе смыкания ножниц плечо A увеличивается, что приводит к значительному увеличению усилий на опоры (рис.7). Разработанная методика конечно-элементного анализа в одном из своих приложений как раз и направлена на исследование нагрузочных характеристик в контакте лезвий и опорах бранш в процессе смыкания лезвий.

Кроме этого, поверхности скольжения Шар и Луна при смыкании бранш не должны изменять геометрического положения фактических зон контакта. Если такое изменение геометрии контактирующих поверхностей будет происходить, оно неизменно приведет к нарушению равномерности

хода (скачкам), что нежелательно. В идеальном случае, они должны представлять собой поверхности вращения с центром на оси поворота.

Изготовление таких поверхностей будет представлять определенные технологические сложности, но при наличии современных станков с ЧПУ, представляется вполне возможным.

На ПАО МИЗ им. М.Горького для этой цели используется современный специальный шлифовальный станок с ЧПУ GH-4Z350F, позволяющий реализовать 4-х координатный набор движений и получение таких поверхностей на предварительно подготовленных и термообработанных лезвиях.

Необходимым конструктивным элементом является начальный зазор между поверхностями скольжения. Он позволяет существенно облегчить ход ножиц, но является причиной начального холостого хода от момента начала движения бранш до возникновения начального контакта режущих кромок. Только с этого момента возникает силовое замыкание. Усилия здесь появляются в результате упругой деформации преимущественно лезвийной части бранш из-за наличия их подгибки.

Поэтому, основными элементами конструкции и параметрами ножиц, определяющими качество их работы, являются:

1. Начальный зазор между поверхностями скольжения.
2. Жесткость лезвийной части бранши.
3. Характер изменения жесткости лезвийной части бранши по мере продвижения точки контакта во время смыкания.
4. Геометрия поверхностей Шар и Луна, определяющая постоянство опорного плеча (рис.7).
5. Величины подгиба и подворота бранш.

Существенным параметром качества резания и, соответственно, режущих кромок ножиц является «степень остроты» кромок лезвий, то есть радиус скругления режущих кромок, который оказывает важное значение на условия их контакта и износ в процессе работы. Вопрос достижения оптимального значения данного параметра не является очевидным и требует дополнительного исследования.

Методика предлагаемых исследований позволяет определить в явной форме взаимное положение точек контактов лезвий по координатам X, Y, Z, параметры движения бранш (ускорение, скорости), силовые параметры (пространственные силы в контакте, изгибающие моменты, энергетические характеристики) в процессе смыкания в зависимости от перемещения точки контакта вдоль длины лезвий.

Все эти параметры в значительной мере определяются усилиями, возникающими в точках контакта лезвий при их смыкании. Поэтому главное внимание при исследовании было обращено на распределение силовых нагрузок между контактирующими поверхностями механизма ножиц.

На рис. 8 приведены расчетные графики усилий в точке контакта лезвий в процессе смыкания бранш. В увеличенном масштабе график по распределению сил вдоль двух осей X и Z приведен на рис.9. По осям ординат отложены значения сил в Н, по осям абсцисс - время расчетного анализа, соответствующее углу поворота бранш от начала движения смыкания (угол между браншами 80 град.), до полного их смыкания (0 град.).

Из графиков видно, что усилия существенно меняются в процессе смыкания. При этом начальная точка контакта расположена на расстоянии в 6% от длины лезвий, а конечная – на конце лезвий, что полностью удовлетворяет требованиям ГОСТ 21239-93.

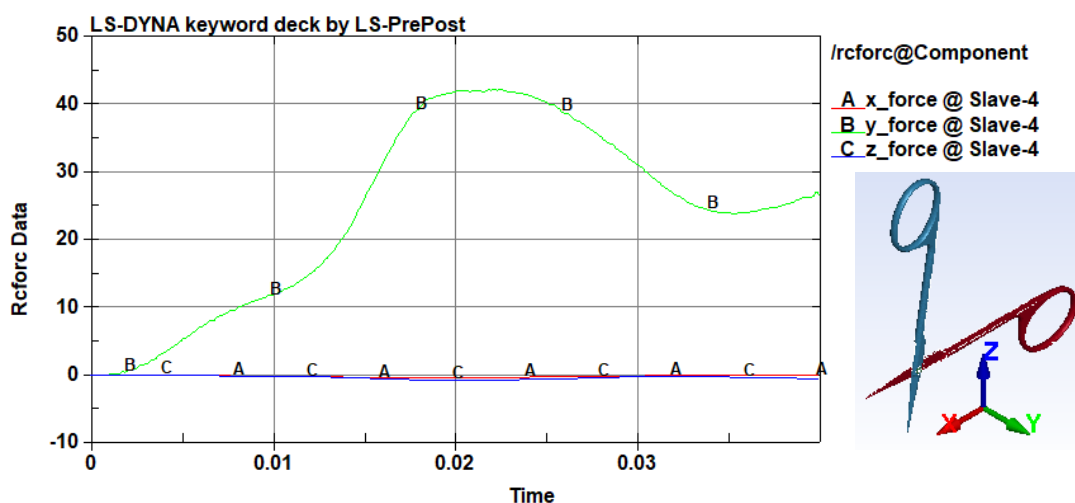


Рисунок 8 – График сил в контакте по длине лезвий по 3-м осям

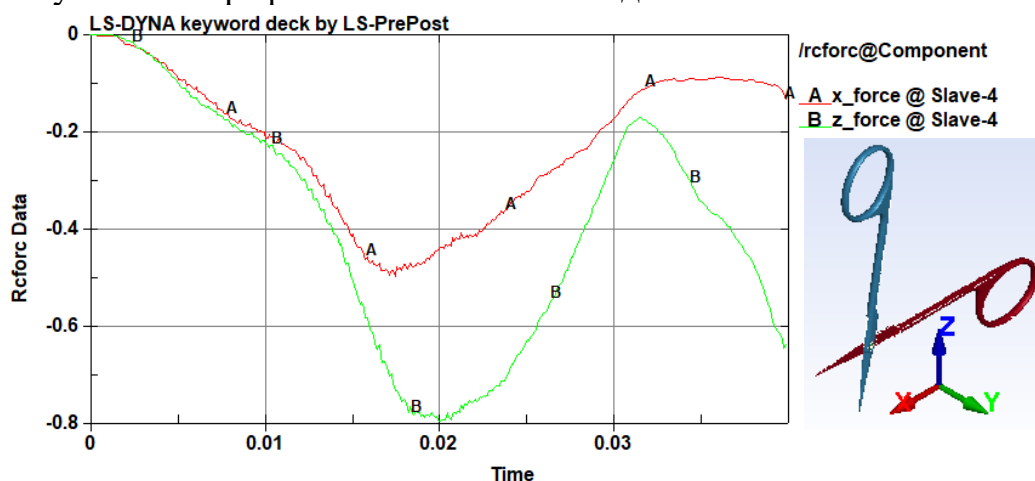


Рисунок 9. График сил в контакте по длине лезвий по осям x и z

Как видно из графиков, величины сил в контакте вдоль осей X, Z на два порядка меньше, чем по оси Y. Это логично, учитывая, что за счет кривизны лезвий во время их смыкания максимальное давление в точке смыкания режущих кромок происходит именно по направлению упругой деформации лезвий.

Силы в контакте, показанные на графиках, возникают за счет упругих свойств лезвий. Упругие свойства в зависимости от точки контакта определяются плечом A (рис.7), геометрией лезвий и упругими свойствами материала. В процессе движения от начальной до конечной точки контакта лезвий, плечо пропорционально увеличивается, а моменты инерции сечения лезвий уменьшаются, но не равномерно: сначала мало меняются, затем более сильно за счет изменяемой геометрии лезвий. При этом следует учитывать, что разработка конструкции лезвий производилась очень давно с эстетических соображений и «похожести» на иностранные аналоги, но без учета ее влияния на силовые параметры. Теперь у нас в руках имеется существенный инструмент, позволяющий учесть это влияние, и оптимизировать конструкцию на уровне 3D модели.

При перемещении точки контакта от замкового механизма до примерно середины длины лезвий, сила в контакте увеличивается. Это связано с двумя факторами. Первый: незначительное уменьшение размеров сечения лезвий и, следовательно, небольшое уменьшение жесткости и силы упругой реакции в контакте между лезвиями. Второй, это геометрия лезвий, то есть изогнутость поверхностей лезвий, приводящая к увеличению натяга в контакте по мере смыкания. Далее в процессе движения точки контакта начинает превалировать уменьшение жесткости лезвий, что преимущественно и вызывает уменьшение усилия реакции.

На рис. 10 приведено распределение изгибающих моментов относительно осей X , Y , Z .

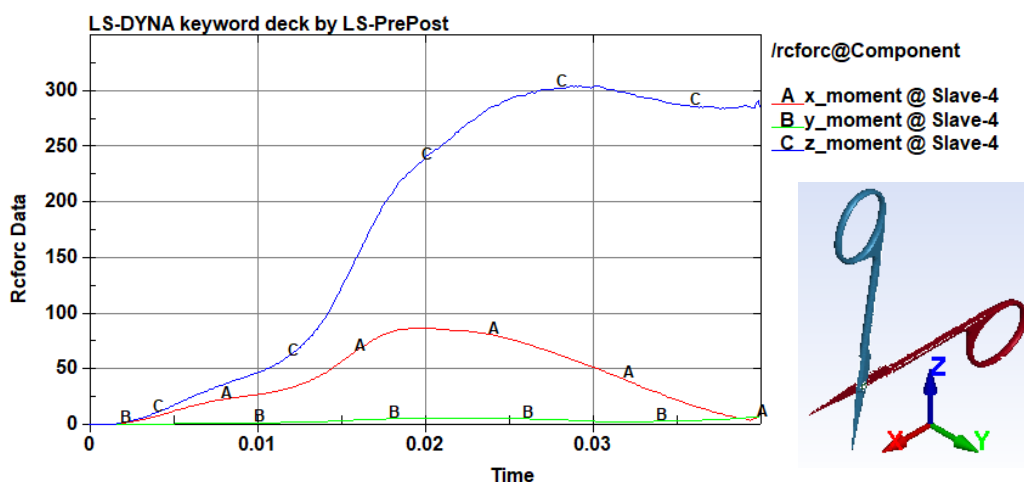


Рисунок 10. График моментов вдоль длины лезвий по 3-м осям

Вид графика моментов аналогичен графикам сил. Аналогично увеличивается значение моментов при удалении точки контакта. Это определяется увеличением плеча от опоры (замкового механизма) до точки контакта и изменением величины силы в контакте. Наибольшее значение, как видно из графика, имеет момент относительно оси Z : (100 - 300) Н*мм. Это также объясняется уровнем величины силы вдоль оси Y , которая и образует момент относительно оси Z .

Одним из главных вопросов при таких исследованиях является желаемая или допустимая величина силы в контакте лезвий или лезвия с материалом.

Разными авторами проводились исследования по формулировке требований к величине нагрузки или износа. Так, в работе [6, с.51] отмечено, что предельное давление скальпеля на кожу может составлять 20Н. Применительно к хирургическим ножницам такие данные отсутствуют, поэтому в первом приближении можно использовать эту цифру. Реальную величину износа в зависимости от нагрузки между лезвиями и числа циклов нагружений можно определить экспериментально как, например, в [9], но для очень конкретной конструкции ножниц и технологии их изготовления. Другой вариант - расчетным путем, пользуясь теми же методами, изложенными в данной статье, но подобрав правильную модель разрушения материала в процессе износа.

Завершающим и наиболее важным критерием качества ножниц безусловно являются их режущие свойства. В первом приближении в качестве критерия режущих свойств ножниц можно использовать методику, приведенную в ГОСТ 21239-93. Но указанная методика не дает количественной оценки требуемых механических параметров ножниц, а также не содержит методики их контроля. В то же время, методы расчетного анализа, приведенные в настоящей статье, позволяют решать данные вопросы. Для этого требуется уточнение расчетной модели с введением в нее разрезаемого материала, как это показано на рис. 11. Очевидно, что в данном случае потребуется создание модели разрезаемого материала как композита, настройка и верификация его свойств, включая модель разрушения, а также правильное моделирование его контактного взаимодействия с лезвиями ножниц.

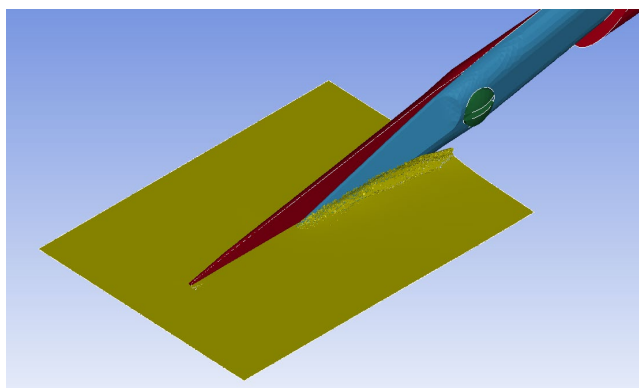


Рисунок 11. Модель разрезания материала

Заключение. Впервые выполнено исследование нагрузочных характеристики в контакте лезвий хирургических ножниц в динамике на основе математического моделирования. Получены результаты, показывающие возможность такого типа исследований с целью обоснования конструкции лезвий, обеспечивающих рациональные износостойкие характеристики.

МКЭ дает возможность заложить точные исходные данные и получить более подробную информацию о реальном поведении рассматриваемого объекта. Но, как и во всех подобных исследованиях, необходимо проведение верификации полученных данных по абсолютным величинам. В то же время, оперируя даже только качественными изменениями полученных данных, можно уже на данном этапе производить оптимизацию геометрии ножниц и технологии их изготовления. Методика, оценивающая поведение объекта в динамике на основе МКЭ в параметрическом виде дает инструмент комплексного вариантного анализа для обеспечения оптимальности конструкции.

Изложенный материал отражает один из элементов современной технологической и научной базы проектирования и производства медицинского инструмента. Комплексное производство, объединяющее научное предпроектное исследование, основанное на математическом моделировании функционирования будущего объекта, графическое проектирование, основанное на 3D моделях, технологическую подготовку и современное высокоточное специальное оборудование с ЧПУ, дает возможность получить качественные и функционально обоснованные изделия для нужд современной медицины.

Список литературы

1. ГОСТ 21239-93 (ИСО 7741-86) Группа Р21. Межгосударственный стандарт. Инструменты хирургические. Ножницы. Общие требования и методы испытания. Введ. 01.01.1995.
2. Дыдыкин С.С., Блинова Е.В., Щербюк А.Н. Современные хирургические инструменты: Справочник. – М.: ГЭТАР – Медиа, 2016. 144 с.
3. Исследование влияния электролитно-плазменной обработки поверхности медицинского инструмента на повышение ее коррозионной стойкости. Нагулин К.Ю., Коновалова О.А., Вейнов В.П., Котков А.О. Бутлеровские сообщения. 2022. Т. 72. № 11. с. 114-119.
4. Коста Д.М., Лопес Л.К.Д., Типпл А.В.В., Йохани К., Ху Х., Дева А.К., Ватанабе Э., Викери К. Оценка хирургических инструментов из нержавеющей стали, подвергнутых многократному использованию/обработке. Заражать здоровье. 2018;23(1):3-9. Ресурс доступа: <https://doi.org/10.1016/j.idh.2017.08.004>
5. Основы технологической и организационной подготовки производства медицинских изделий. Вейнов В.П., Мусин И.Н. Старый Оскол, 2022. 308с.
6. Сабитов В.Х. Медицинские инструменты. - М. : Медицина, 1985, 175 с.
7. Патент «Ножницы хирургические». Ресурс доступа: <https://patents.google.com/patent/RU51478U1/ru>.

8. Патент «Хирургические ножницы». Ресурс доступа: <https://patenton.ru/patent/RU2607280C2>.

9. Development of a device for the characterization of scissors' cutting efficiency Advisor: Prof. Marco Tarabini Master thesis of: Davide Magnani Matr. 852757 Academic, year 2016-2017.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОФОРМОВКИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПАНЕЛЕЙ

Зародов М.С.

Аспирант, каф. МТ-6 «Технологии обработки давлением», Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва

Аннотация. В работе предлагается способ определения геометрических параметров теплообменной панели, основанный на численном моделировании процесса гидроформовки методом конечных элементов в программном комплексе QForm. Также для проверки адекватности модели было проведено экспериментальное исследование.

Ключевые слова: теплообменная панель, гидроформовка, метод конечных элементов, численное моделирование, QForm.

HYDROFORMING PROCESS INVESTIGATION OF HEAT EXCHANGE PANELS

Zarodov M.S.¹

1 – PhD student at the at the department of metal forming technologies, BMSTU, Moscow

Abstract. The article proposes a method for determining the geometric parameters of a heat exchange panel based on numerical modeling of the hydroforming process by the finite element method in the QForm software package. In addition, an experimental study was conducted to verify the adequacy of the model.

Keywords: pillow plate heat exchanger, hydroforming, finite element method, numerical modeling, QForm

Введение. Теплообменные панели являются деталями теплообменника с плоской поверхностью теплопередачи. Они могут быть объединенными в батареи или использоваться по-отдельности. Теплообменная панель, представленная на рисунке 1, состоит из профилированных металлических листов, сваренных между собой. По каналам циркулирует теплоноситель, снаружи панель может окружать жидкость или газ. Теплообмен происходит непосредственно через стенки панели. Теплообменные панели используются в различных отраслях промышленности (в качестве нагревательных или охлаждающих рубашек, сосудов, трубопроводов или резервуаров для хранения) [1,2].

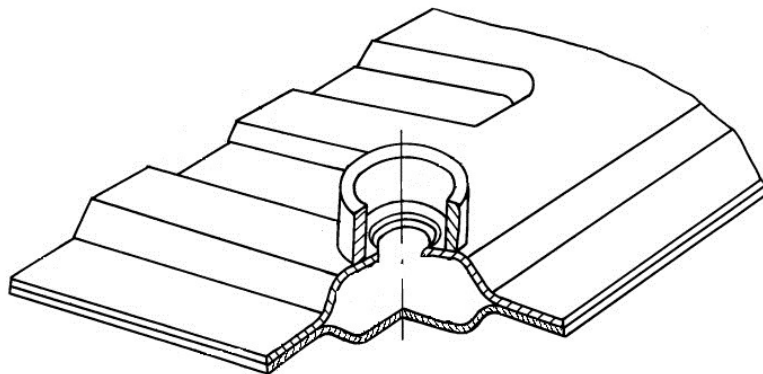


Рисунок 1. Теплообменная панель

В условиях единичного и мелкосерийного производства отдельное внимание следует уделить технологии изготовления теплообменных панелей путем сварки листов с последующей гидроформовкой. Преимуществами данной технологии является отсутствие необходимости применения штамповой оснастки и кузнечно-прессового оборудования, облегчение процесса сварки, гибкость производства.

Наибольшее распространение получили теплообменные панели из двух симметричных волнистых листов, сваренных точками в шахматном порядке и образующими повторяющиеся элементы в виде равносторонних треугольников (рис. 2). После сварки точек завариваются кромки листов и привариваются штуцеры, через которые подается жидкость для создания давления изнутри и формовки. Плоская заготовка деформируется до нужной высоты путем увеличения давления, приобретая волнистую форму.

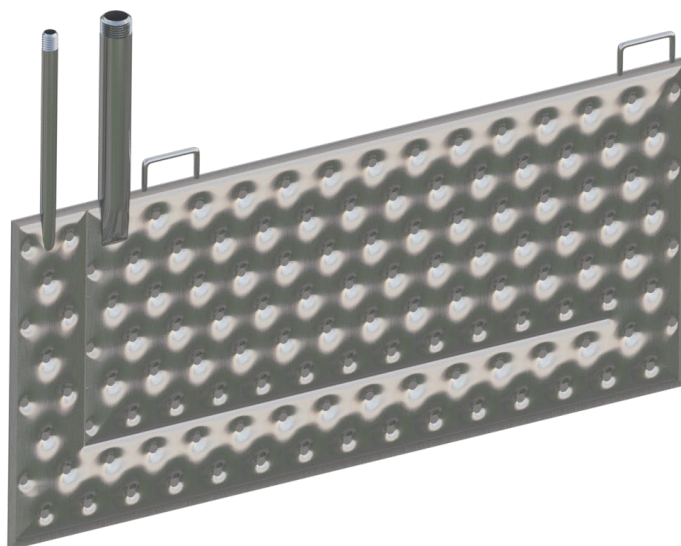


Рисунок 2. Теплообменная панель, полученная гидроформовкой

Основные исследования таких теплообменных панелей были направлены на изучение гидродинамики и теплообмена [6-20], однако в литературе отсутствуют методы проектирования, что затрудняет расширение области их применения. Поскольку площади поперечного сечения внутри теплообменных панелей, малы, даже незначительные ошибки в определении геометрических параметров могут вызвать большие колебания расчетной средней скорости потока. Также, наряду с тепловой задачей важно также обеспечить достаточный уровень прочности деталей.

Были проведены исследования, направленные на изучения влияния формы сварных точек на распределение потока и теплопередачи [16, 19], влияние материала на эффективность теплообмена, однако прочностные

расчеты или эксперименты, подтверждающие возможность изготовления таких теплообменных панелей, не были проведены.

В работе [3] предлагается метод, основанный на моделировании МКЭ, для определения давления разрыва. Однако данный метод не предусматривает исследование теплообменных панелей в промежуточных состояниях формовки, при среднем раскрытии панели. Также не было изучены упругие деформации, их влияние на геометрию детали.

Экспериментальное определение является дорогостоящим и трудоемким из-за большого числа возможных конфигураций, следовательно, необходимо использовать моделирование, чтобы описать реальную геометрию деталей.

В статьях [12, 15] встречаются формулы, описывающие поверхность теплообменной панели, где δ – максимальное расстояние между листами показано на рисунке 3. В свою очередь на δ влияют следующие факторы: материал, толщина листа, рисунок сварки, диаметр сварных точек, конечное давление формовки.

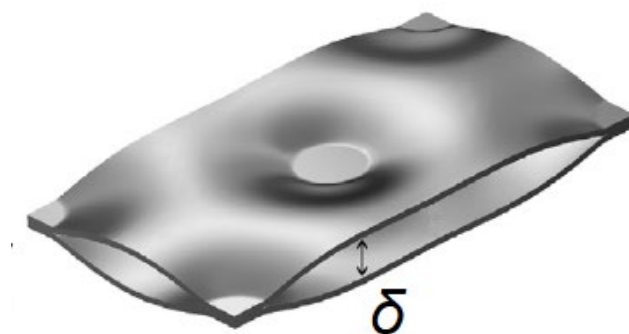


Рисунок 3. Место максимального раскрытия панели

Создание математической модели. В данной работе моделирование процесса гидроформовки проводилось в QForm, программном комплексе для моделирования и оптимизации процессов обработки металлов давлением. Основной метод моделирования процессов — метод конечных элементов. Заготовка разбивается на некоторое количество элементов, имеющих форму треугольников или тетраэдров. В каждом отдельном элементе решается система уравнений, включающая в себя уравнения равновесия, уравнения связи между полем скоростей материальных точек и скоростей деформаций, уравнения связи между напряженным и деформированным состоянием, условия несжимаемости, критерий пластичности, уравнения энергетического баланса. Пользователь может задать зависимость сопротивления деформированию от других параметров, рассчитываемых в подпрограммах пользователя. Материал считается изотропным и изотропно упрочняющимся.

Программа рассчитывает упругие и пластические деформации. Процесс гидроформовки будем считать квазистатическим, изотермическим,

скоростным упрочнением и термическим воздействием на материал в зонах сварки пренебрегаем.

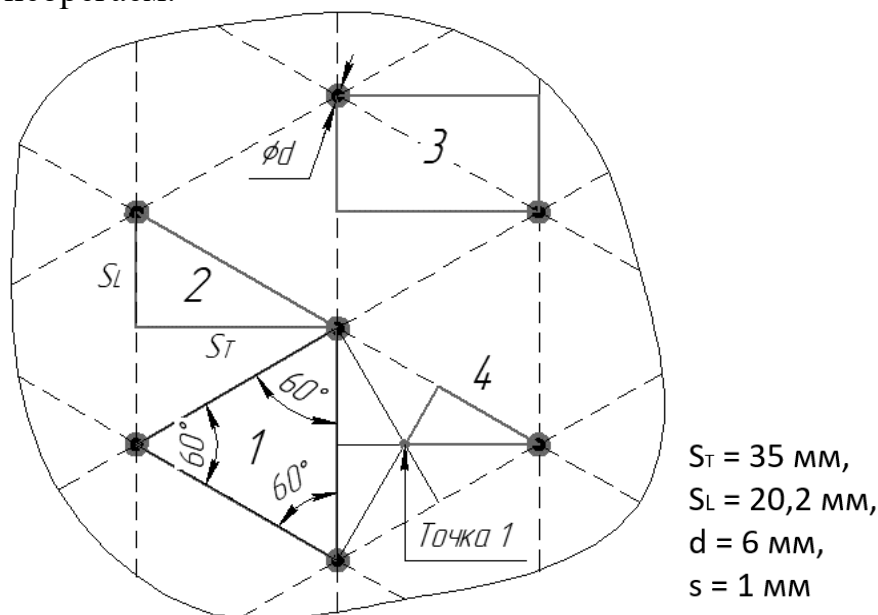


Рисунок 4. Виды и размеры повторяющихся элементов.

Для моделирования был выбран минимальный повторяющийся элемент №4 (см. рис. 4) для ускорения расчетов. В программе QForm такой элемент задается в виде 3D модели – призма, показанный на рисунке 5. Через боковые грани призмы проходят плоскости симметрии. Сварную точку моделирует инструмент, задано прилипание заготовки.

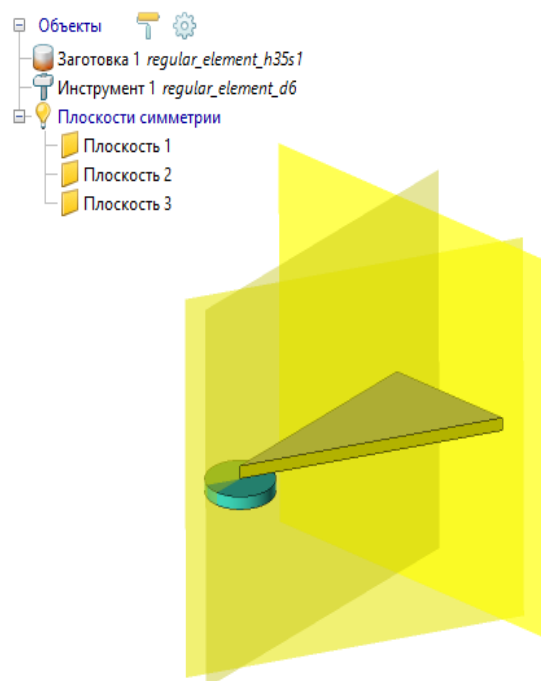


Рисунок 5. Заготовка с граничными условиями.

Для задания свойств материала был проведен эксперимент на растяжение и была построена кривая упрочнения, показанная на

рисунке 6 для стали 08 кп. Данные вносятся в QForm в табличном виде. Модуль Юнга – 203 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,3.

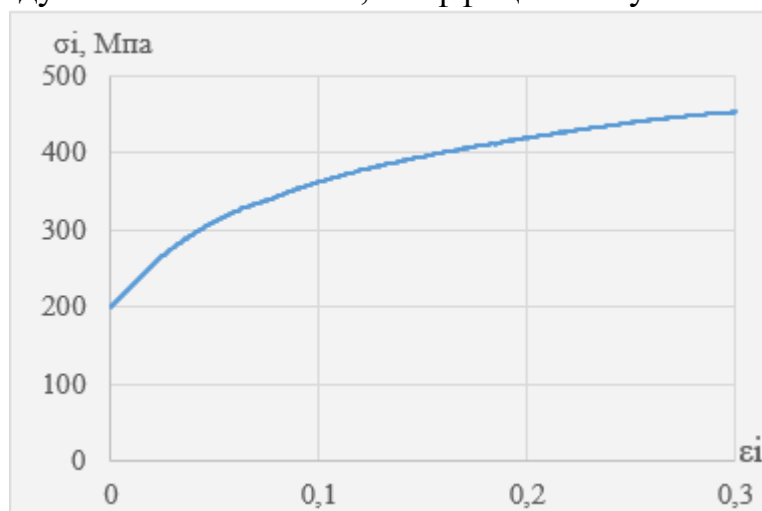


Рисунок 6. Кривая упрочнения для стали 08кп.

Давление было приложено к нижней части заготовки и принято непрерывно растущим от 0 до 30 бар. Наращивание давления происходит со скоростью 1 бар/сек.

Для разбиения геометрии была выбрана нерегулярная, тетраэдральная сетка, 5 элементов по толщине заготовки. Было проведено исследование влияния сетки на результаты моделирования. Обнаружено, что увеличение размеров элементов уменьшают максимальную высоту раскрытия панели, уменьшение размеров элементов незначительно влияет на результат моделирования, однако время моделирования увеличивается в несколько раз. Следовательно, можно сделать вывод, что выбранная сетка оптимальна.

Точка «1» (см. рис. 3) является характерной, т.к. находится в месте максимального раскрытия панели. Как показано на рисунке 7, после моделирования процесса точка 1 переместилась.

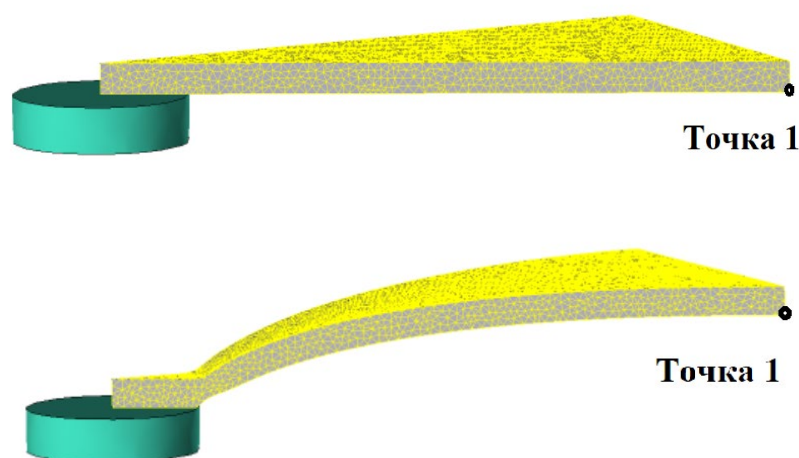


Рисунок 7. Заготовка до и после деформирования

Построим график перемещения точки «1», рисунок 8. Для этого выполним трассировку точки по операции и стандартную подпрограмму, которая рассчитывает перемещения точек. Т.к. давление – функция времени, этот график показывает также зависимость половины величины максимального раскрытия панели от времени (давления).

Точка 1 - displacement, мм

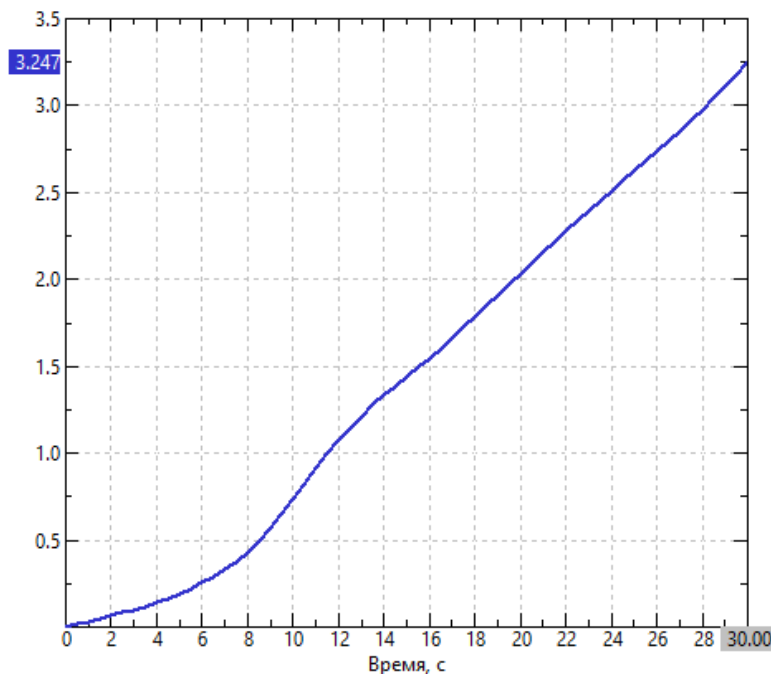


Рисунок 8. График перемещения точки «1»

Экспериментальное исследование. Для верификации математической модели был проведен эксперимент. Был сварен образец панели, представленный на рисунке 9 с равномерным треугольным расположением сварных точек по размерам $S_t = 35$ мм, $S_L = 20,2$ мм, $d = 6$ мм (см. рис 3). Сваривались 2 листа по 1 мм из стали 08 кп.



Рисунок 9. Заготовка

Далее происходила формовка на установке, показанной на рисунке 10. Давление, нагнетаемое насосом, измерялось манометром, а максимальное раскрытие панели – индикатором. Ножка индикатора устанавливалась в начале эксперимента на сварную точку, а его основание опиралось на места максимального раскрытия панели. Такой способ измерения используется при производстве теплообменных панелей.



Рисунок 10. Экспериментальная установка

С шагом 5 бар от 0 до 30 бар фиксировались значения индикатора. По данным, полученным в ходе эксперимента была построена зависимость величины $\delta/2$ от давления. Для сравнения результаты моделирования и эксперимента были отмечены на графике, изображенном на рисунке 11.

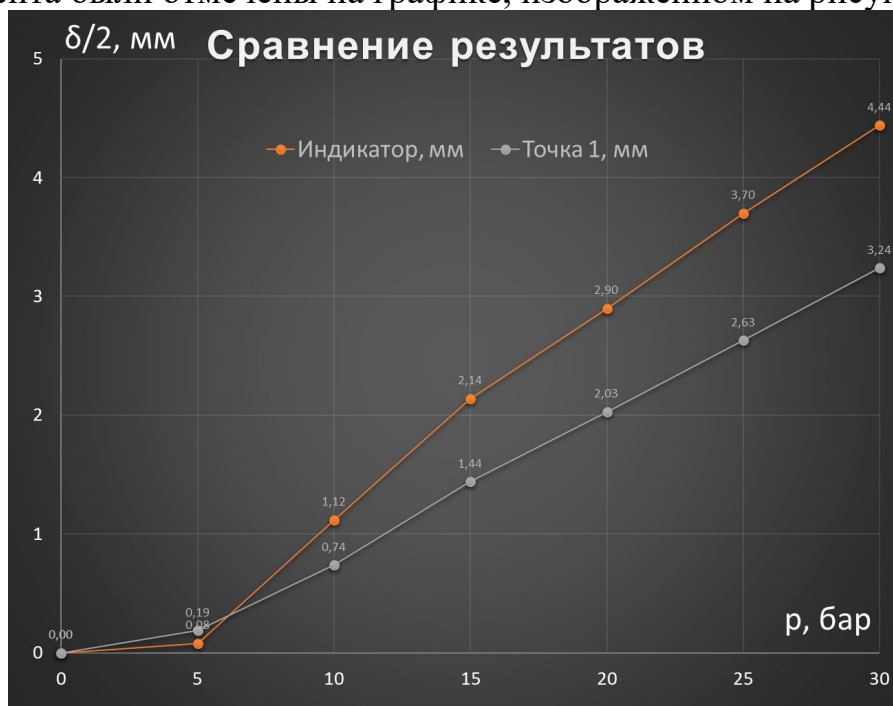


Рисунок 11. Зависимость величины максимального раскрытия теплообменной панели от давления.

Сравним результаты моделирования и эксперимента. Максимальное расхождение эксперимента и модели по величине $\delta/2$ составило 30 %.

Выводы. Была построена и проверена математическая модель процесса гидроформовки тепловых панелей. Возможные причины расхождения результатов:

1. Нерегулярная, гексаэдральная сетка не подходит под эту задачу.
2. Необходимо учитывать влияние термического воздействия сварки на свойства материала.
3. Несоответствие граничных условий.
4. Влияние анизотропии свойств материала не учитывалось при моделировании.
5. Низкая точность взаимного расположения сварных точек.

Список литературы

1. Фраас А. Расчет и конструирование теплообменников. Атомиздат, 1971, 356 с.
2. Shah, R. K., Fundamentals of heat exchanger, John Wiley & Sons, Inc, 2003, 941p.
3. Zibart A, Spang B, Kenig E.Y. Numerical analysis of burst pressure and maximum inflation height of aluminium made pillow plates. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2022, vol 203, art. no. 104878.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2022.104878>
4. Власов А.В., Стебунов С.А., Евсюков С.А. Конечно-элементное моделирование технологических процессовковки и объемной штамповки. Москва, Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019, 384 с
5. Tran J.M., Piper M., Kenig E.Y., Scholl S. Pillow-Plate Heat Exchangers: Fundamental Characteristics. Innovative Heat Exchangers. Springer, Cham, 2018, pp. 233–245
6. J. Mitrovic, R. Peterson, Vapor condensation heat transfer in a thermoplate heat exchanger, Chem. Eng. Technol. 30 (7) (2007) 907–919.
7. J.M. Tran, M. Piper, E.Y. Kenig, Experimentelle Untersuchung des konvektiven Wärmeübergangs und Druckverlustes in einphasig durchstromten Thermoblechen, Chem. Ing. Tech. 87 (3) (2015) 226–234.
8. J.M. Tran, S. Sommerfeld, M. Piper, E.Y. Kenig, Investigation of pillow-plate condensers for the application in distillation columns, Chem. Eng. Res. Des. 99 (2015) 67–74.
9. J.M. Tran, M. Linnemann, M. Piper, E.Y. Kenig, On the coupled condensationevaporation in pillow-plate condensers: investigation of cooling medium evaporation, Appl. Therm. Eng. 124 (2017) 1471–1480.
10. O. Arsenyeva, M. Piper, A. Zibart, A. Olenberg, E.Y. Kenig, Heat transfer and pressure loss in small-scale pillow-plate heat exchangers, Chem. Eng. Trans. 70 (2018) 799–804.

11. O. Arsenyeva, M. Piper, A. Zibart, A. Olenberg, E.Y. Kenig, Investigation of heat transfer and hydraulic resistance in small-scale pillow-plate heat exchangers, *Energy* 181 (2019) 1213–1224.
12. J. Mitrovic, B. Maletic, Numerical simulation of fluid flow and heat transfer in thermoplates, *Chem. Eng. Technol.* 34 (9) (2011) 1439–1448.
13. M. Piper, J.M. Tran, E.Y. Kenig, CFD-Untersuchung der Fluidodynamik und des Wärmeübergangs bei einphasiger Strömung im welligen Spalt zwischen Thermoblechen, *Chem. Ing. Tech.* 87 (3) (2015) 216–225.
14. M. Piper, A. Olenberg, J.M. Tran, E.Y. Kenig, Determination of the geometric design parameters of pillow-plate heat exchangers, *Appl. Therm. Eng.* 91 (2015) 1168–1175.
15. M. Piper, A. Zibart, J.M. Tran, E.Y. Kenig, Numerical investigation of turbulent forced convection heat transfer in pillow plates, *Int. J. Heat Mass Transf.* 94 (2016) 516–527.
16. M. Piper, A. Zibart, E.Y. Kenig, New design equations for turbulent forced convection heat transfer and pressure loss in pillow-plate channels, *Int. J. Therm. Sci.* 120 (2017) 459–468.
17. S. Kumar, B. Premachandran, P.M.V. Subbarao, Study on thermo-hydraulics in a pillow plate channel, *Int. J. Therm. Sci.* 145 (2019), 106020.
18. S. Kumar, B. Premachandran, P.M.V. Subbarao, Large eddy simulation of singlephase forced convection in pillow plate channel with periodic boundary conditions, *Int. J. Heat Mass Transf.* 149 (2020), 119176.
19. R. Eldeeb, V. Aute, R. Radermacher, Pillow plate heat exchanger weld shape optimization using approximation and parallel parameterized CFD and nonuniform rational B-splines, *Int. J. Refrig.* 110 (2020) 121–131.
20. A. Zibart, E.Y. Kenig, Numerical investigation of conjugate heat transfer in pillowplate heat exchanger, *Int. J. Heat Mass Transf.* 165 (2021), 120567.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ СТАНКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ И ПРОФИЛЕЙ

Илюшкин М.В.

к.т.н., зам. генерального директора по науке АО "Ульяновский НИИТ"

Аннотация. Рассматривается применение виртуальных станков в процессах обтяжки листов и профилей, а также для процессов изготовления гнутых профилей в роликах. Представлена последовательность работ при автоматизированном проектировании роликовой оснастки, а также алгоритм работы программы DynaRollForm по разработке калибров роликовой оснастки с автоматизированным моделированием процесса формования в программе LS-Dyna

Ключевые слова: виртуальный станок, роликовая оснастка, DynaRollForm, LS-Dyna, моделирование

THE USE OF VIRTUAL MACHINES IN THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE MANUFACTURE OF SHEET METAL PARTS AND ROLL FORMING

Ilyushkin M.V.

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

Abstract. This article discusses the use of virtual machines in the processes of sheet metal forming and profile production, as well as in roll forming. It presents the sequence of work involved in automated designing roller tooling and describes the algorithm of the DynaRollForm program for the development of roller tooling calibers, which includes automated modeling of the roll forming process in the LS-Dyna software

Key words: virtual machine, roll forming, roller tooling, DynaRollForm, LS-Dyna, simulation

Цифровые двойники или виртуальные станки уже прочно заняли свое место при расчетах различных технологических процессов. Преимуществами виртуальных моделей является отсутствие необходимости использования реального оборудования и возможность отладки значительного количества различных режимов изготовления.

Виртуальные модели могут быть сопряжены с методом конечных элементов, что расширяет и дополняет возможности отладки процесса получения деталей, обладающих требуемой геометрической формой или другими требуемыми параметрами.

Пример виртуального станка РО-3М для обтяжки листовой заготовки показан на рисунке 1.

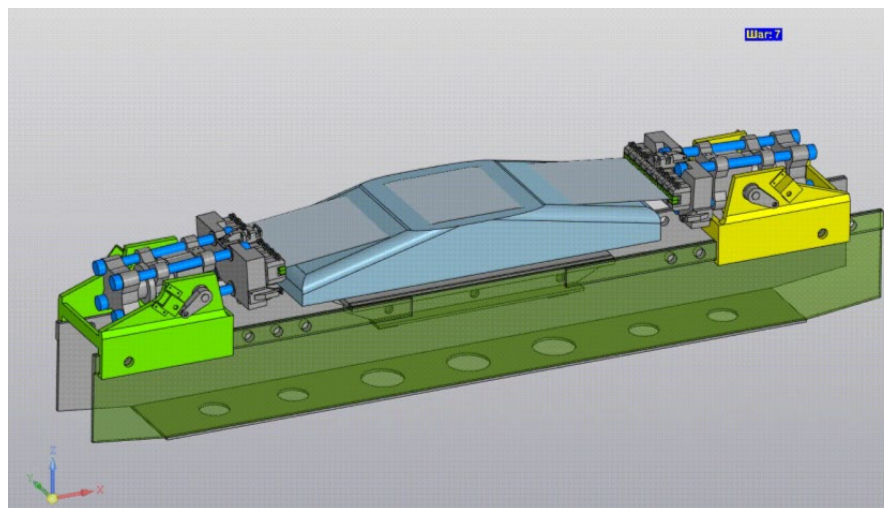


Рисунок 1. Пример виртуальной станки РО-3М для обтяжки листовой заготовки

Пример меню для виртуальной станки РО-3М с помощью которого можно установить начальное положение, задать параметры заготовки, загрузить пуансон нужной формы представлен на рисунке 2.

Файл Инструменты Справка	
Параметры модели	Начальное положение
Шаг: 1 из 1.	
Положение левого блока растяжения (0..400мм): 0,00 	Положение правого блока растяжения (0..400мм): 0,00
Наклон зажимной плиты (0..40°): 0,00 	Наклон зажимной плиты (0..40°): 0,00
Передний радиус зажима (∞..0,672м): 	Передний радиус зажима (∞..0,672м):
Задний радиус зажима (∞..0,672м): 	Задний радиус зажима (∞..0,672м):

Рисунок 2. Исходное меню для ввода параметров процесса виртуального станка и настройки параметров расчета

Расчет процесса обтяжки по заданной модели пуансона и листа и введенных параметров осуществляется с использованием конечно-элементной программы LS-Dyna или Qform. Пример результатов таких расчетов представлен на рисунке 3.

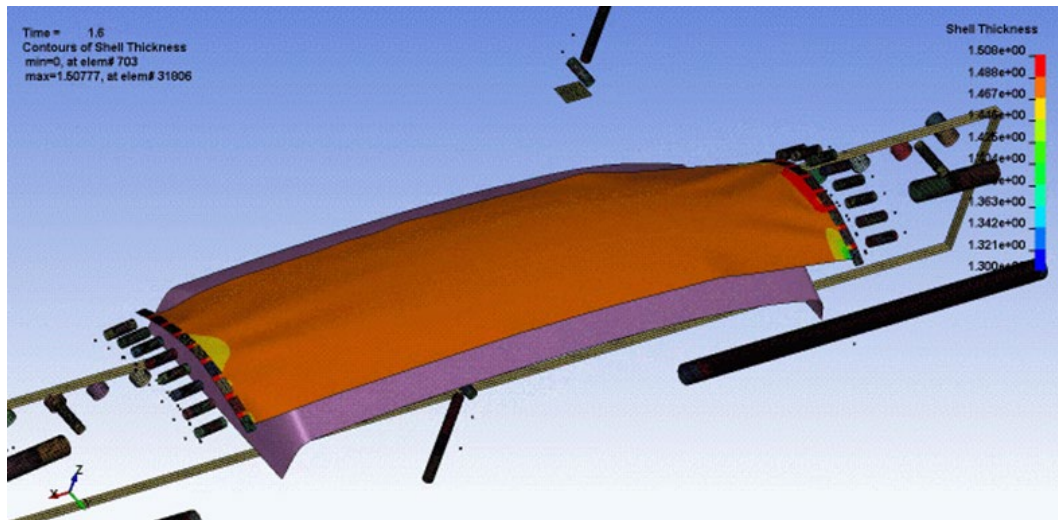


Рисунок 3. Моделирование промежуточной обтяжки листовой заготовки в программе LS-Dyna

Виртуальный станок для обтяжки листа позволяет:

- предсказать поведения листа на стадии разработки технологии;
- провести n-е количество расчетов для поиска наилучших режимов;
- создать управляющую программу для обтяжного станка;
- снизить квалификацию рабочих за станком.

Пример виртуального станка для обтяжки профильных заготовок приведен на рисунке 4.

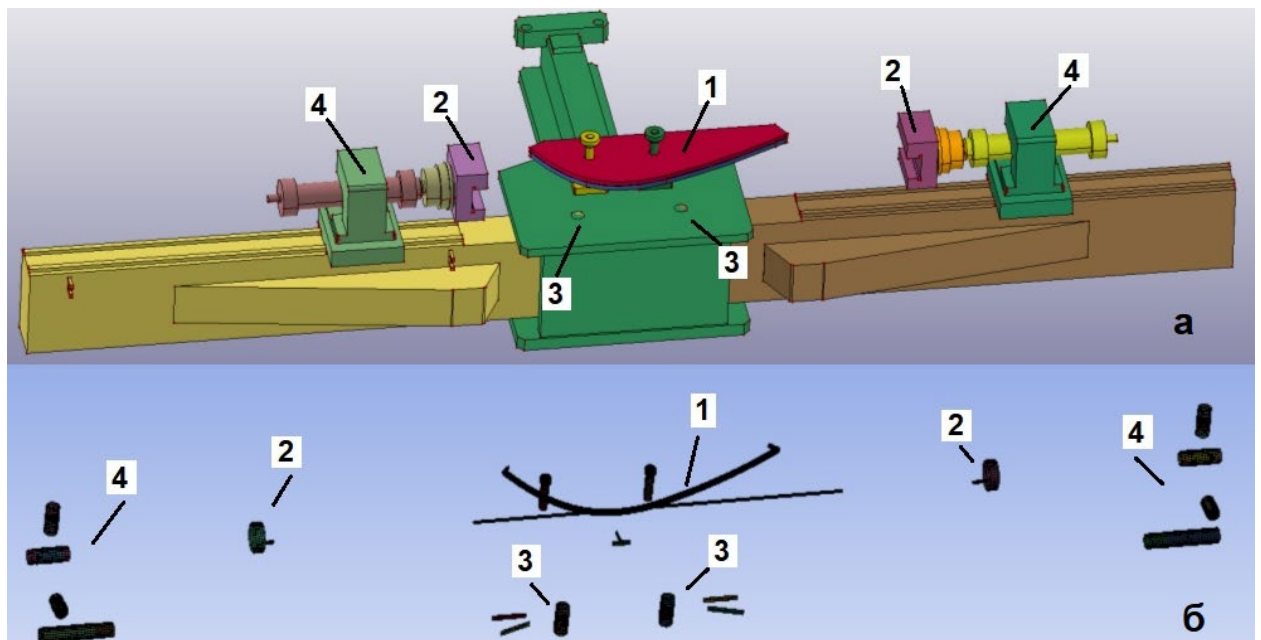
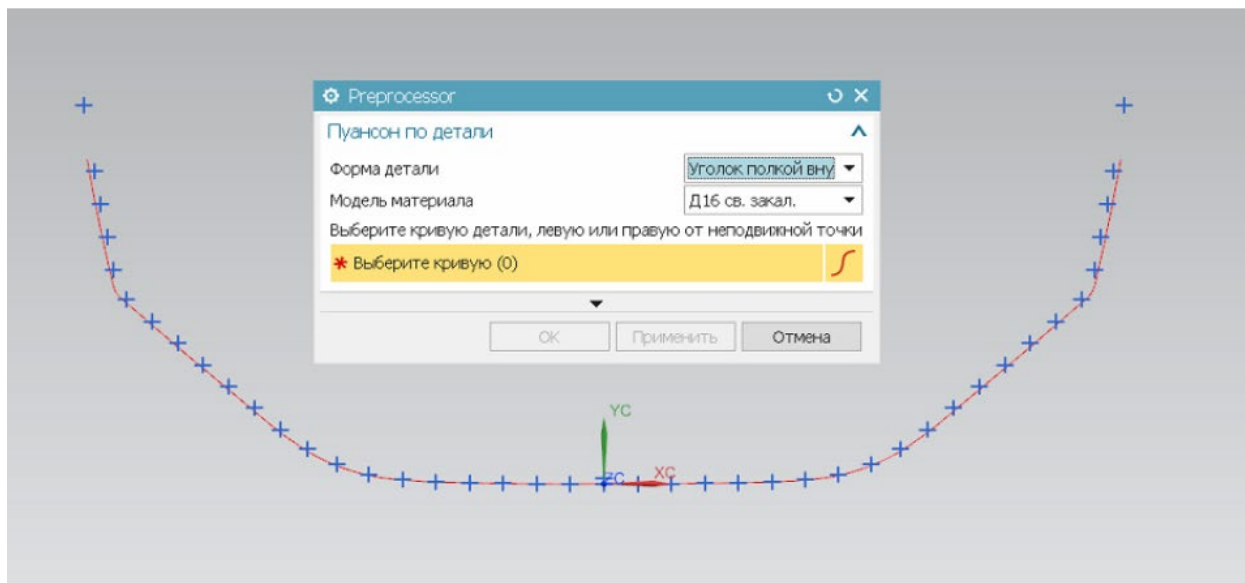
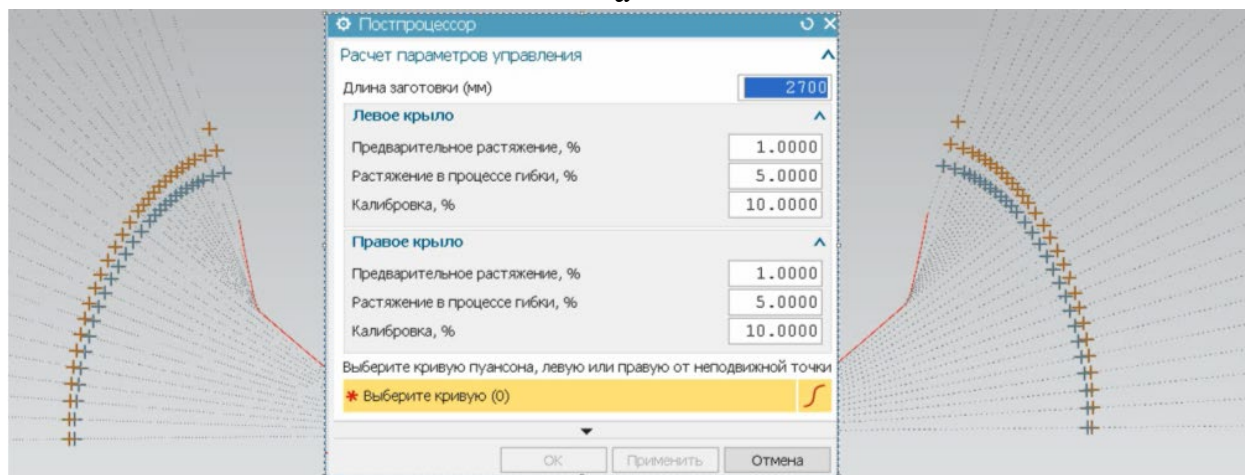


Рисунок 4. Исходная 3D модель (а) и виртуальная модель (б) профилегибочного растяжного станка

В данной виртуальной модели имеются 2 плагина - пре и постпроцессор (рис. 5), которые обеспечивают расчет пружинения профиля после обтяжки и создание управляющей программы для станка на базе введенных величин растяжения.



а



б

Рисунок 5. Пре и постпроцессор для виртуального станка ПГР, обеспечивающие расчет пружинения профиля после обтяжки и создание управляющей программы

Виртуальный станок для обтяжки профиля позволяет:

- рассчитать форму пуансона с учетом пружинения;
- варьировать технологическими параметрами процесса (величиной растяжения) для поиска наилучших режимов деформирования;
- создать управляющую программу для обтяжного станка;
- снизить квалификацию рабочих за станком.

Рассмотрим создание виртуального станка для проектирования роликовой оснастки для изготовления гнутых профилей (рис. 6).

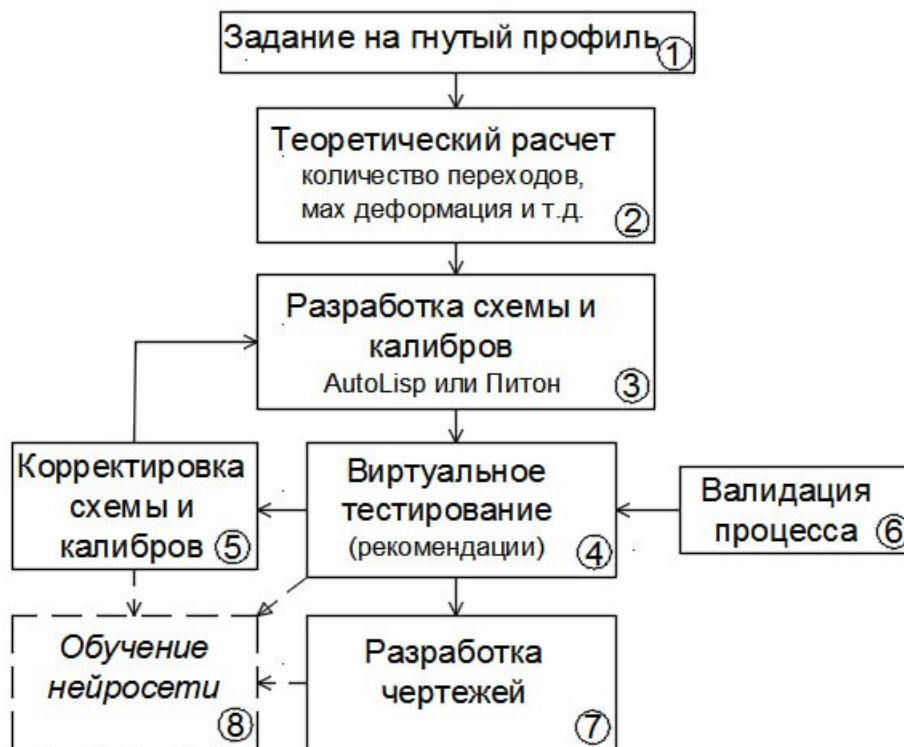


Рисунок 6. Последовательность работы при проектировании роликовой оснастки для производства гнутых профилей

После получения задания на проектирования роликовой оснастки для изготовления гнутого профиля (1) проводится теоретический расчет (2), который позволяет установить предварительные параметры требуемые для проектирования роликовой оснастки (количество переходов, межклетьевое расстояние, усилие формообразования, углы подгибки по переходам и т.п.).

Далее проводится разработка схем и калибров (3), например, в программе Autocad Autolisp или с помощью любого языка программирования.

Разработанные калибры, включая параметры заготовки, проходят виртуальное моделирование (4), например, в программе динамического анализа LS-Dyna. Для автоматизации этого этапа была специально разработана программа DynaRollForm [1]. По результатам моделирования автоматически создается отчет, включающий в себя анализ таких параметров как форма и размеры готового профиля, утонения по элементам профиля, отклонения от прямолинейности, дефекты профиля при их наличии, уточненные энергосиловые параметры и др.

Анализ результатов может проводить вручную или автоматически. Если результаты не устраивают происходит корректировка схем и калибров (5). В настоящее время корректировка выполняется вручную, но

предполагается также автоматическая корректировки схем и калибров. После этого новые калибры роликовой оснастки проходят виртуальное моделирование и цикл повторяется.

Данный цикл или последовательность действий 3-4-5 (см. рис. 6) происходит до тех пор пока виртуальный профиль не будет иметь требуемых характеристик (соответствие формы, размеров и отсутствие дефектов). После этого (при необходимости) производится разработка чертежей роликовой оснастки (7).

Для проведения точного виртуального тестирования требуется проведения предварительных работ по валидации процесса (6). Валидация процесса включает в себя сравнения результатов моделирования и результатов практических испытаний. В случае отличия результатов моделирования корректируются параметры моделирования. Предполагается проведение такой валидации для широкого круга различных профилей (сечений и толщин). За критерий будет приниматься отклонение результатов валидационных моделей не более чем на 5%.

Следующий шаг – это обучение нейросети (8) который предполагает наличия больших баз данных по входным и выходным параметрам. База данных будет строиться как на основе практических испытаний, так и прогона по различным параметрам при моделировании данного процесса в программе LS-Dyna.

Рассмотрим более подробно работу программы DynaRollForm. На рисунке 7 представлен укрупненный алгоритм работы по разработке калибров роликовой оснастки с автоматизированным моделированием процесса формования при изготовлении гнутого профиля.

На данном этапе предполагается что уже имеются спроектированные калибры роликовой оснастки для изготовления заданного гнутого профиля (например, швеллерного типа) и сохраненные в формате *iges* для каждого ролика.

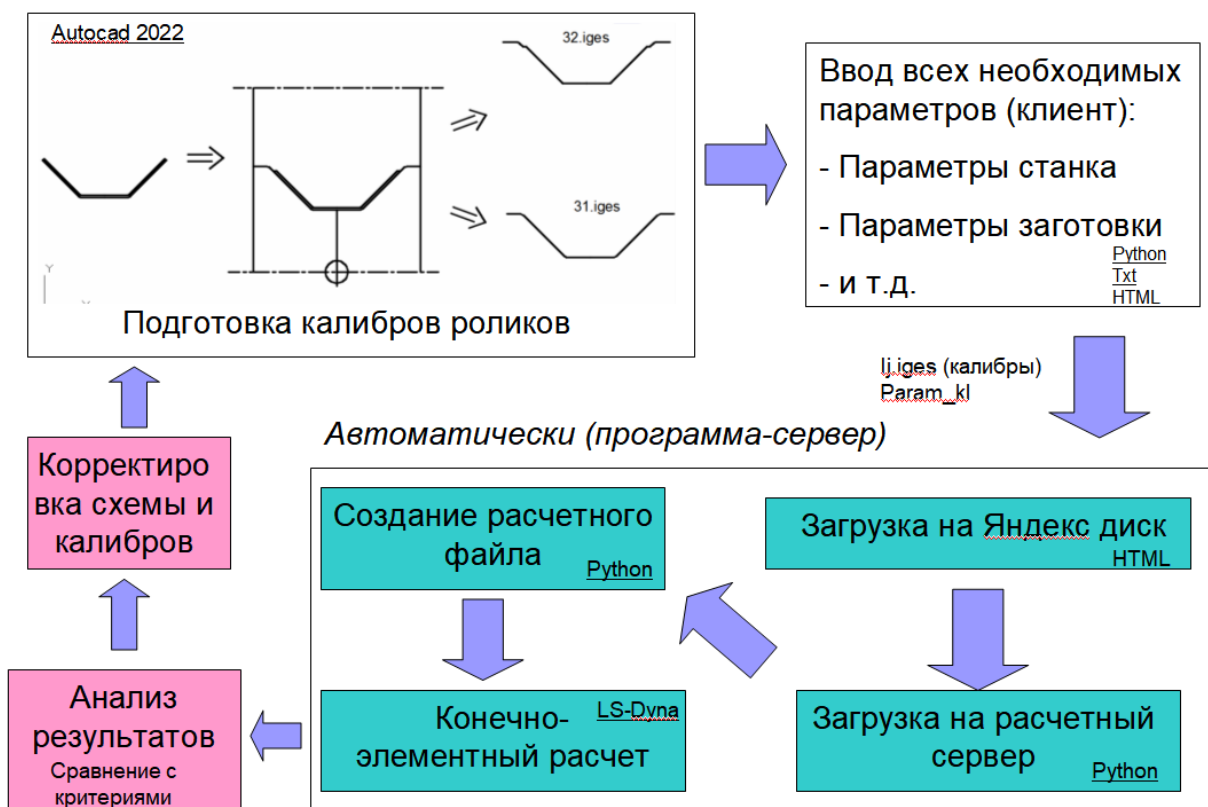


Рисунок 7. Укрупненный алгоритм работы программы DynaRollForm по разработке калибров роликовой оснастки с автоматизированным моделированием процесса формования при изготовлении гнутого профиля

В программе-клиенте вводятся все необходимые параметры для моделирования процесса:

- количество переходов;
- межклетьевое расстояние;
- ширина и толщина заготовки;
- марка материала;
- межосевые расстояния по переходам.

Далее результаты поступают на программу-сервер, где автоматически загружаются на яндекс диск и далее на расчетный сервер с установленной программой конечно-элементного анализа (в данном случае LS-Dyna), где автоматически создается расчетный файл и проводится само моделирование.

Результатом моделирования является отчет, содержащий в себе информацию:

- получился ли профиль в соответствии с заданным чертежом;
- имеются ли дефекты профиля (кромковая волнистость, нарушения покрытия и др.);
- энергосиловые параметры процесса.

В случае если результаты не устраивают, то производится корректировка схемы и (или) калибров и описанные этапы повторяются.

Пример одного из варианта клиента программы DynaRollForm приведен на рисунке 8.

Online сервис моделирования роликовой оснастки для изготовления гнутых профилей
www.dynarollform.ru

Название проекта (латиницей)
Количество переходов
Межклетьевое расстояние, мм
Верхние приводные: 1-да, 0-нет
Добавить 0-й переход: 1-да, 0-нет
Добавить приводку: 1-да, 0-нет
Толщина заготовки, мм
Ширина заготовки, мм
Ширина слева (несим. профиль)
Ширина справа (несим. профиль)
Угол скоса (20-90), град
Ширина скоса (20-45), %
Марка материала: 1-08лс, 2-Ст3
Ввести элктр. почту e-mail
Межосевое 1 переход
Межосевое 2 переход
Межосевое 3 переход
Межосевое 4 переход
Межосевое 5 переход
Межосевое 6 переход
Межосевое 7 переход
Межосевое 8 переход
Межосевое 9 переход
Межосевое 10 переход
Межосевое 11 переход
Межосевое 12 переход
Выбрать файлы Файл не выбран
Сохранить данные

Межос расст

Межос расст

Межос расст

Межос расст

Межклет расст

Межклет расст

Межклет расст

Межклет расст

Ширина слева

Ширина справа

Марка материала заготовки

Ширина заготовки

Длина заготовки

Толщина заготовки

Угол скоса

Ширина скоса

Рисунок 8. Online сервис для моделирования роликовой оснастки
<https://www.dynarollform.ru>

Укрепленный алгоритм работы программы DynaRollForm представлен на рисунке 9 и реализован в программе Python 3.14.

Программа представляет бесконечный цикл, который с определенным периодом проверяет наличие исходных файлов входных параметров и роликов. При их наличии создается расчетный файл, проводится запуск на расчет и проводится анализ результатов.



Рисунок 9. Укрепленный алгоритм работы программы DynaRollForm

На рисунке 10 представлен более подробный алгоритм проверки наличия исходных файлов. Если есть разрешение на запуск на расчет ($test1 = 1$), если есть в наличии файл `param_k1` с параметрами от пользователя ($test2=1$), если в наличии все файлы роликов ($test2=1$) происходит переход к следующей части программы, где создается сам расчетный файл.

Далее создаются расчетные карты (рис. 11) для запуска в LS-Dyna (`param.k`), создаются `sfile` роликов и заготовки. Запуском `sfile` в программе `ls-prepost` создаются `k` файлы роликов (`ij.k`) и заготовки (`blank.k`). Далее файлы объединяются в один расчетный файл `rollform.k` и создается файл ожидания `Waiting`.

Далее проверяется загрузка процессора компьютера (рис. 12). Если есть свободные ядра и если в наличии файл `Waiting` запускается конечно-элементный расчет и постпроцессор для вывода результатов моделирования.

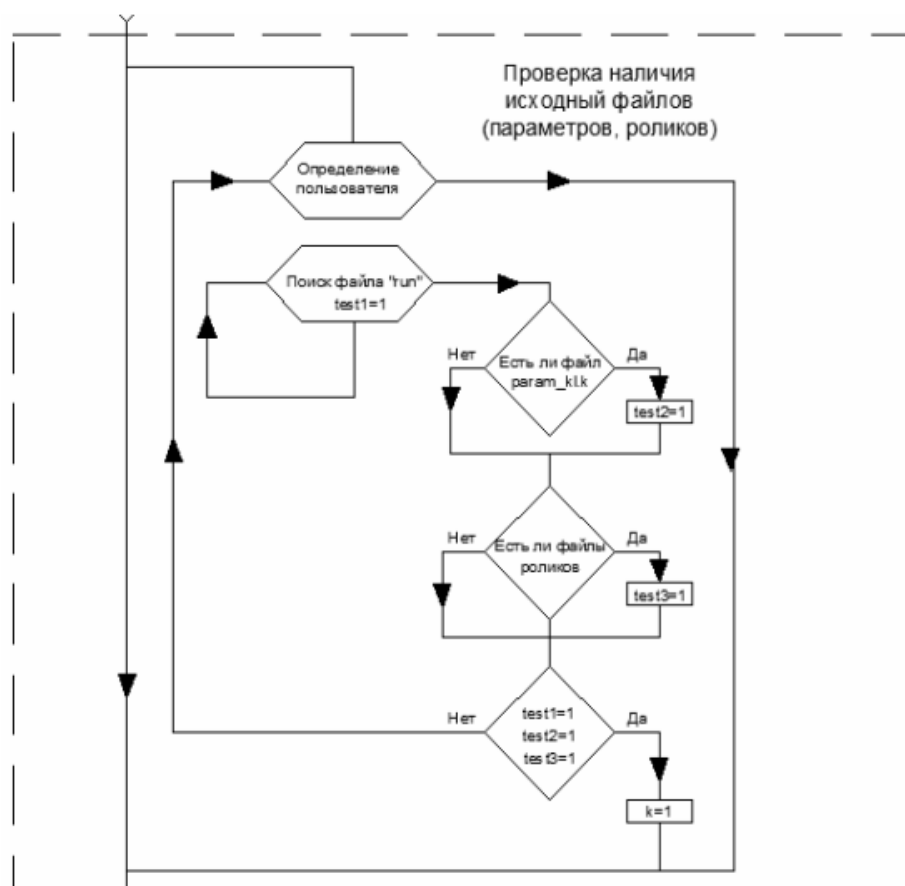


Рисунок 10. Алгоритм работы программы DynaRollForm. Часть 1

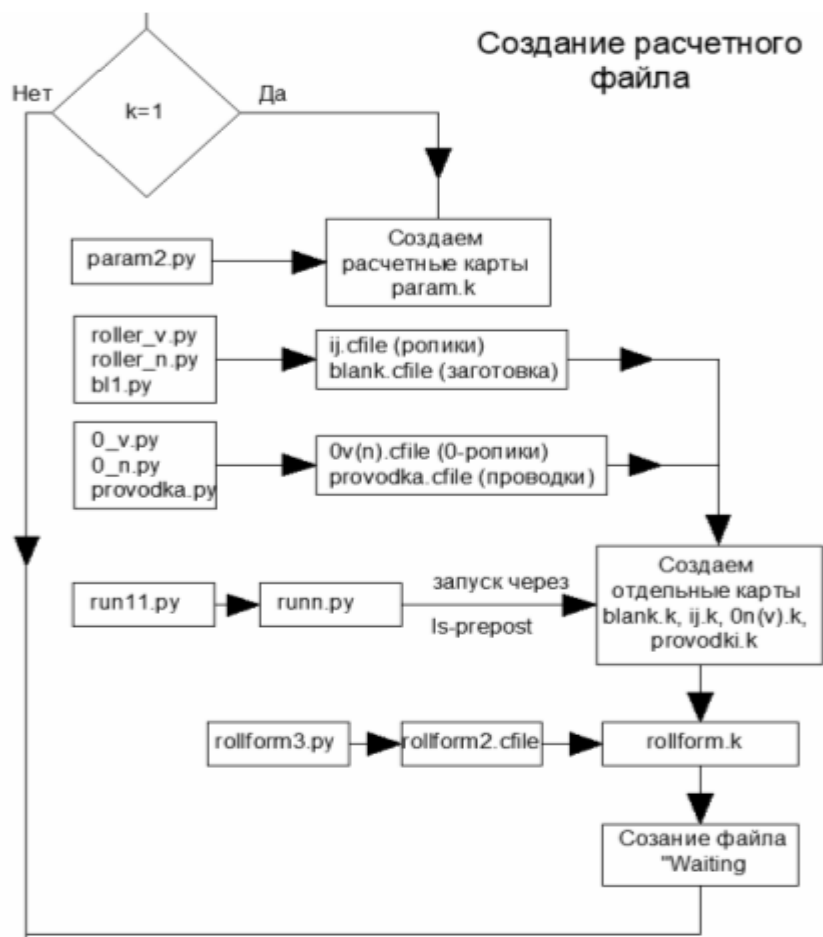


Рисунок 11. Алгоритм работы программы DynaRollForm. Часть 2

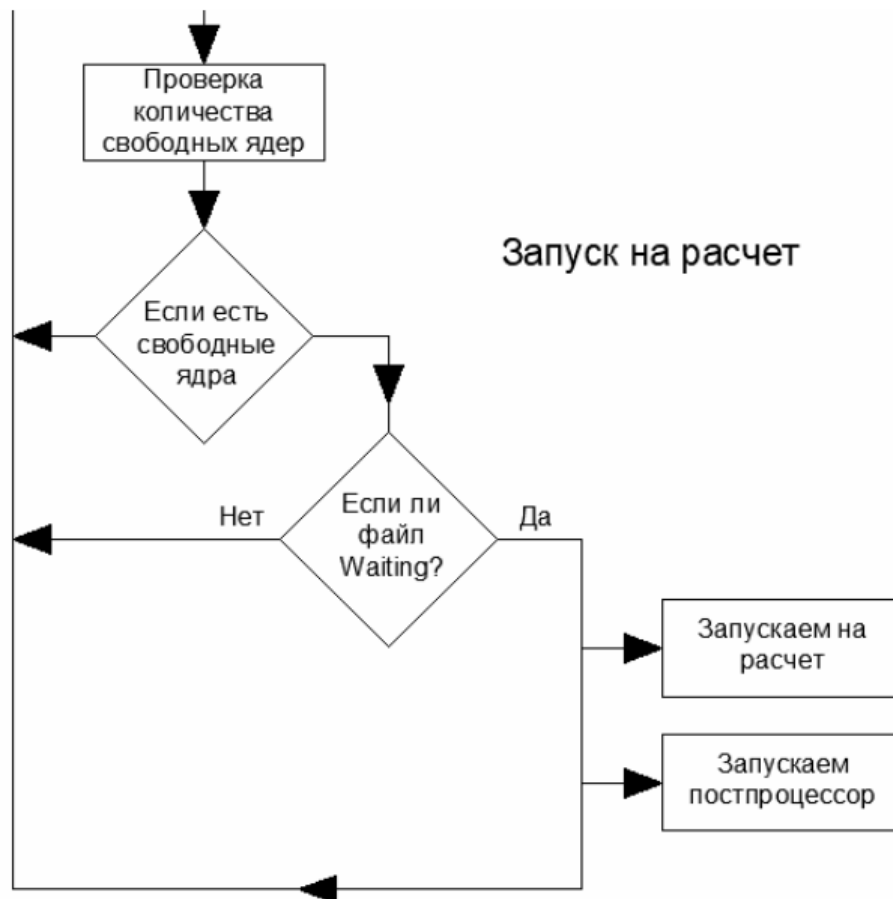
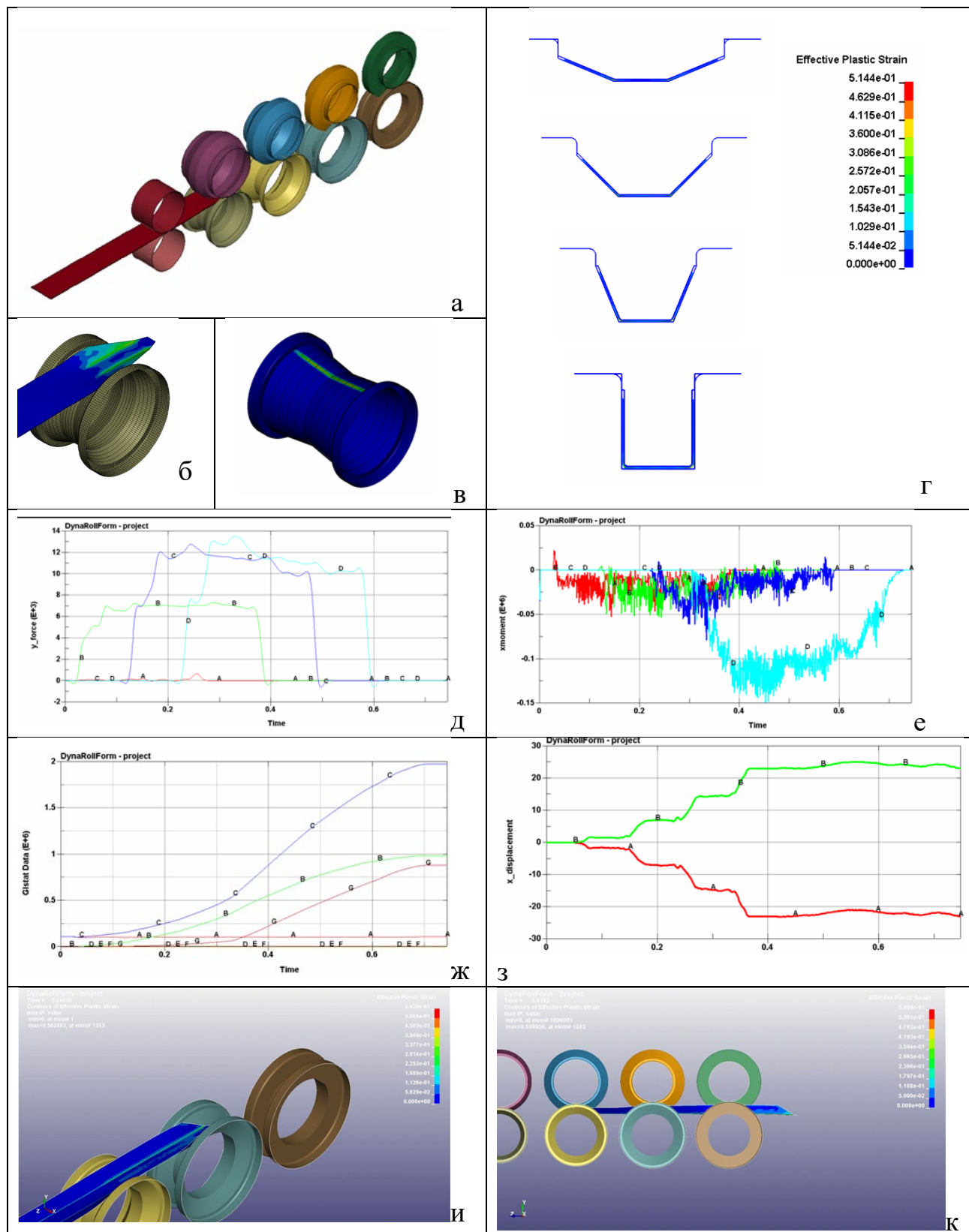


Рисунок 12. Алгоритм работы программы DynaRollForm. Часть 3

В качестве выходной информации на данный момент предоставляются (рис. 13):

- общий вид заготовки и роликов,
- НДС заготовки в переходе,
- контактные напряжения на ролике,
- НДС заготовки по сечению,
- усилия по переходам,
- моменты по переходам,
- вывод энергетических параметров процесса,
- перемещение кромок профиля по переходам,
- анимация процесса по основным видам.



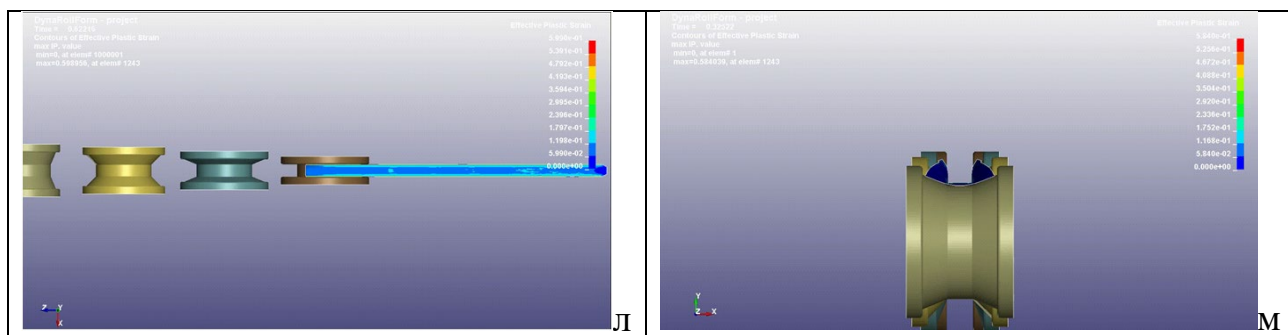


Рисунок 13. Результаты выводимые в программе DynaRollForm: а - общий вид заготовки и роликов, б - НДС заготовки в переходе, в - контактные напряжения на ролике, г - НДС заготовки по сечению, д - усилия по переходам, е - моменты по переходам, ж - энергетические параметры процесса, з - перемещение кромок профиля по переходам, и, к, л, м - анимация процессов по видам

Следующий шаг - это обучение нейросети построению технологических схем и роликовых калибров для различных видов профилей. В этом случае конечно-элементное моделирование используется только для обучения нейросети. И тогда от момента получения исходного чертежа профиля до вывода рабочих чертежей понадобится буквально секунды.

Список литературы

1. Dynarollform : официальный сайт. – URL: <https://dynarollform.ru>. – Текст : электронный.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПРАВОЧНОГО ВОЛОЧЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ В ОДНУ И БЛОК ВОЛОК

Каргин В.Р.¹, Каргин Б.В.²

1 – д.т.н., профессор кафедры "Обработки металлов давлением" "Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва" (Самарский университет).

2 – к.т.н., доцент кафедры "Обработки металлов давлением" "Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва" (Самарский университет).

Аннотация. Приведены результаты компьютерного моделирования безоправочного волочения тонкостенной трубы из алюминиевого сплава системы Al-Mg-Mn методом конечных элементов в программном комплексе DEFORM-2D. Получены зависимости усилия волочения от перемещения заготовки при осадке в одну волоку за два прохода и одновременно в две волоки за проход, распределение нормального давления по длине рабочего канала волоки и толщины стенки на выходе из канала волоки. Процесс одновременного волочения тонкостенных труб в блок волок можно рассматривать как процесс волочения с противонапряжением. Показано, что при одновременном волочении через блок волок для равномерного износа волок следует назначать одинаковые обжатия за проход.

Ключевые слова: волочение; блок волок; тонкостенная труба; моделирование; программа DEFORM-2D; напряженно-деформированное состояние; нормальное контактное напряжение; толщина стенки.

COMPUTER SIMULATION OF SMOOTH DRAWING OF THIN-WALLED PIPES INTO ONE AND BLOCK OF DRAWING

Kargin V.R.¹, Kargin B.V.²

1 - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Metal Forming, Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev " (Samara University).

2 - Ph.D., Associate Professor of the Department of Metal Forming, Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev (Samara University).

Abstract. The results of computer simulation of non-referential drawing of thin-walled pipe from aluminium alloy of Al-Mg-Mn system by finite element method in DEFORM-2D software package are given. There are obtained dependences of drawing force on movement of workpiece at settling in one thread in two passes and simultaneously in two threads per pass, distribution of normal pressure along the length of working channel of thread and wall thickness at the outlet from channel of thread. The process of simultaneously drawing thin-walled pipes into a block of threads can be considered as a process of drawing with counter-tension. It is shown that at simultaneous drawing through the block of wolves for uniform wear of the wolves, the same reduction per pass should be assigned.

Keywords: dragging; a block of wolves; thin-walled pipe; modeling; DEFORM-2D program; stress-strain state; normal contact voltage; wall thickness.

ВВЕДЕНИЕ

При производстве тонкостенных труб из сплавов на алюминиевой основе широкое применение получило безоправочное волочение в одну и две волоки [1-4]. Это объясняется малой трудоемкостью, высокой

производительностью процесса, увеличением дробности деформации и тем, что дает возможность получать трубы с минимальной продольной кривизной, точными размерами и высококачественной поверхностью.

В связи с этим научный и практический интерес представляет изучение процесса осадки тонкостенных труб безоправочным волочением в одну волоку за два прохода и одновременно в блок волок за один проход использованием возможностей современных компьютерных программ, позволяющих в комплексе учесть основные геометрические и технологические параметры, обеспечивающие производство тонкостенных труб требуемого качества.

Цель работы – установление влияния технологической схемы безоправочного волочения тонкостенных труб на характер распределения напряженно-деформированного состояния и энергосиловых условий на протянутом участке готовой трубы.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Компьютерное моделирование безоправочного волочения тонкостенных труб реализованно с помощью метода конечных элементов в специализированном программном комплексе DEFORM-2D [5]. Числовой расчет волочения заготовки диаметром 20х1,5мм из алюминиевого сплава системы Al-Mg-Mn со скоростью 1мм/с проводили в конические волокна с геометрическими параметрами: угол обжимной зоны 12^0 , калибрующий пояс 5мм, радиус сопряжения конического и калибрующего участков 40 мм, диаметры волок 18,2, 16,5, 15,0, 13,8 мм.

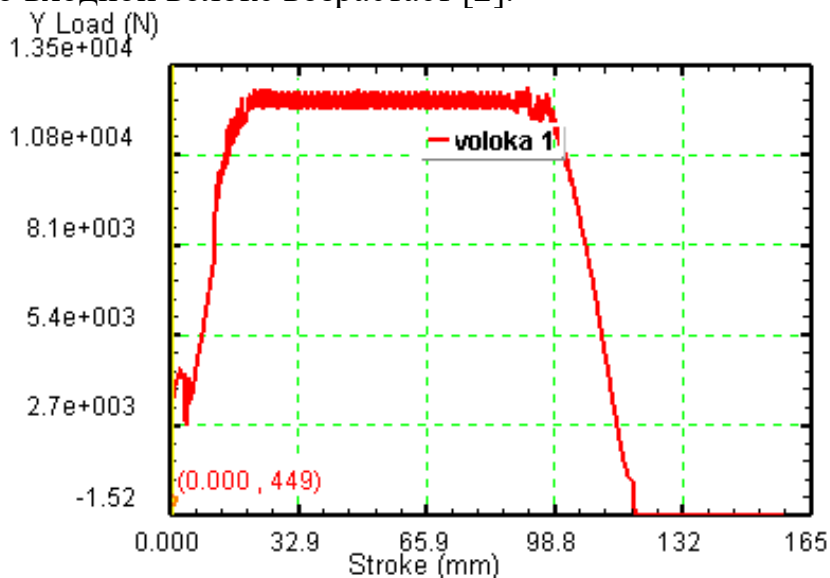
Исследованию подверглись следующие технологические схемы безоправочного волочения: 1-волочение в одну волоку с диаметром 13,8 мм с большим обжатием за один проход; 2- волочение через две волокна с дроблением обжатия за два прохода с диаметрами 18,2мм-13,8мм, 16,5мм-13,8мм, 15,0мм-13,8мм; 3- волочение одновременно в две волокна за один проход с диаметрами 18,2мм-13,8мм, 16,5мм-13,8мм, 15,0мм-13,8мм.

Для описания материала тонкостенных труб принята модель упрочняющейся упруго-пластической среды. Механические свойства материала заданы значениями модуля упругости $E=70\text{ГПа}$, коэффициента Пуассона $\nu=0,33$ и предела текучести в зависимости от интенсивности пластических деформаций.

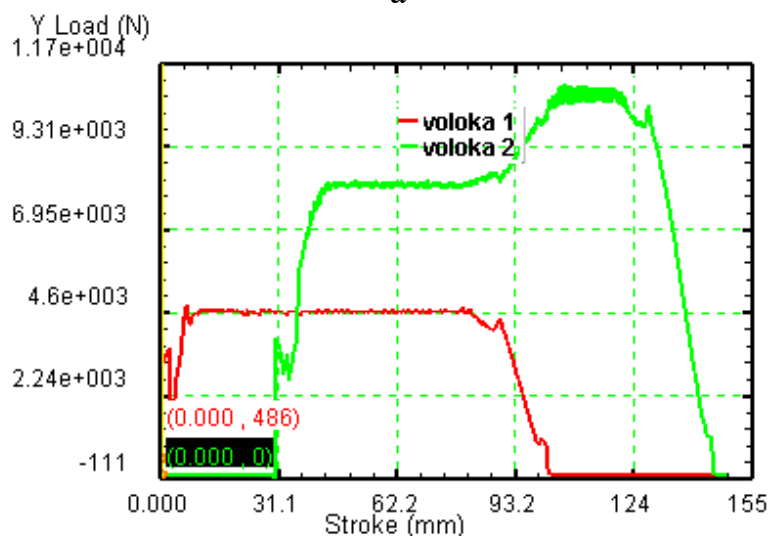
Геометрическая модель моделируемого процесса соответствует условиям осесимметричной задачи. На поверхности контакта заготовки с волокой действуют касательные напряжения, определяемые законом Кулона-Амонтона [3]. Коэффициент трения взят равным 0,1. Количество конечных элементов двумерной сетки выбрано равным 1500, что обеспечивало на заготовке длиной 70 мм шесть конечных элементов по толщине стенки.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В каждом опыте компьютерного моделирования получен график зависимости усилия от перемещения заготовки в одну или две волокна за один проход, рис.1. Из рис. 1 б видно, что усилие волочения во входной волоке в течение всего периода волочения остается постоянным. Усилие в выходной волоке изменяется по величине в процессе волочения – во время установившегося процесса волочения одновременно через две волокна уменьшается за счет противонапряжения, а после окончания процесса волочения во входной волоке возрастает [2].



а



б

Рисунок 1. Зависимость усилия волочения от перемещения заготовки при осадке в одну волоку диаметром 13,8 мм (а) и одновременно в две волокны диаметром 18,2-13,8 мм(б).

Решение задачи методом конечных элементов на этапе установившегося процесса волочения позволяет в программе DEOFRM-2D с помощью команды “Параметры между двумя точками” получить

распределение нормального давления на границе контакта заготовки с волокой (рис. 2), а на протянутых участках трубы с помощью инструмента “Линейка” с требуемой точностью измерить толщину стенки готовой трубы (рис. 3).

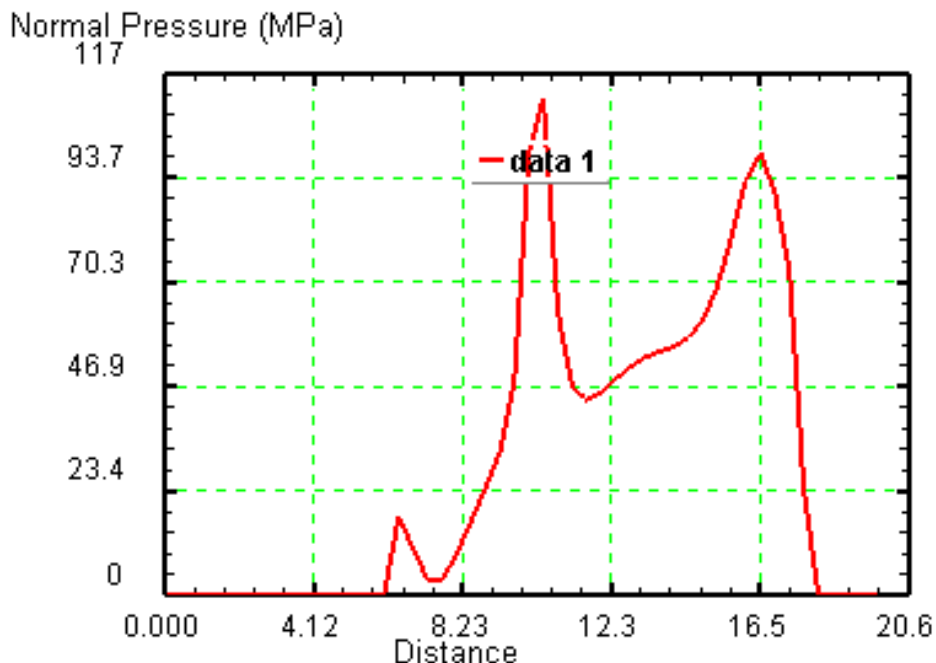


Рисунок 2. Зависимость нормального давления по длине рабочего канала волоки при волочении заготовки диаметром 18,2 мм через волоку диаметром 13,8мм.

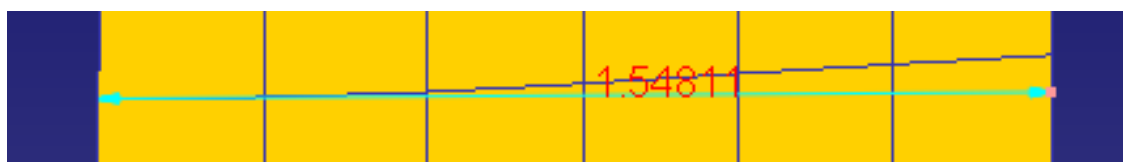


Рисунок 3. Измерение толщины стенки трубы с помощью команды “Линейка”

Результаты расчетов при компьютерном проектировании сведены в таблицу 1, где D -диаметр волоки, λ - коэффициент вытяжки, P - усилие протяжки, t - толщина стенки на выходе из волоки, b_n - максимальное значение нормального давления в зоне входа трубы в рабочую зону. Из таблицы 1 видно, что наибольшее утолщение стенки дает безоправочное волочение в две волоки за два прохода, а наименьшее- осадка в две волоки за один проход и осадка в одну волоку за один проход, причем утолщение при двух последних способах одинаково. Распределение обжатий между волоками при волочении в две волоки за один и два прохода не влияет на величину утолщения стенки, что согласуется с результатами физического эксперимента, описанного в работе [1].

Результаты компьютерного моделирования безоправочного волочения тонкостенных труб диаметром «20×1,5мм в одну и две волокна.

Таблица 1

Результаты расчетов при компьютерном проектировании

Способы волочения	Параметры волочения									
	Волока 1					Волока 2				
	D,мм	λ	P, кН	t,мм	n,МПа	D,мм	λ	P, кН	t,мм	n,МПа
В одну волоку за один проход	13,8	1,5	12,70	1,546	105	—	—	—	—	—
В две волокна за два прохода	18,2	1,1	4,69	1,549	590	13,8	1,36	10,8	1,626	448
	16,5	1,23	7,67	1,593	364	13,8	1,22	7,81	1,636	608
	15,0	1,37	10,70	1,619	264	13,8	1,10	4,67	1,634	870
В две волокна за один проход	18,2	1,1	4,69	1,549	590	13,8	1,36	8,13	1,546	202
	16,5	1,23	7,67	1,593	364	13,8	1,22	5,18	1,547	439
	15,0	1,37	10,70	1,619	210	13,8	1,10	2,34	1,546	707

Процесс одновременного волочения тонкостенных труб в две волокна можно рассматривать как процесс волочения с противонапряжением. Усилие волочения в первой волоке является противонапряжением для трубы во второй волоке. Из сопоставления расчетных данных таблицы 1 видно, что при протяжке одновременно через две волокна максимальные значения нормальных напряжений во второй волоке существенно меньше, чем при протяжке через две волокна в два прохода.

Таким образом, противонапряжение снижает давление металла на стенки волокна, соответственно уменьшает внешнее трение при волочении и вследствие этого повышается стойкость волокна.

Из рис.2 видно, что распределение нормального давления по длине обжимной зоны крайне неравномерное. Максимум давления приходится на входную и выходную зоны рабочего канала волокна. Высокий градиент нормальных давлений является основной причиной “кольцевого” износа при входе и выходе из канала волокна. Чем больше коэффициент вытяжки за проход, тем меньше величина давления на входе в рабочую зону.

ВЫВОДЫ

1. Наибольшее утолщение стенки трубы дает технологическая схема безоправочное волочение в две волокна за два прохода, а наименьшее осадка в две волокна за один проход и осадка в одну волоку за один проход.

2. При одновременном волочении через две волокна максимальные значения нормальных напряжений во второй волоке существенно меньше, чем при протяжке через две волокна в два прохода.
3. Процесс одновременного волочения тонкостенных труб в две волокна можно рассматривать как процесс волочения с противонапряжением.
4. При одновременном волочении через две волокна для равномерного износа волокон следует назначать одинаковые обжатия за проход.

Список литературы

1. Ерманок, М. З. Изменение толщины стенки при безправочном волочении труб из алюминиевых сплавов // Известия вузов. Известная металлургия, 1958. – №4, С. 142-152.
2. Савин, Р. А. Волочение труб / Р. А. Савин. – М. : Металлургия, 1983. – 336 с.
3. Перлин, И. Л. Теория волочения / И. Л. Перлин, М. З. Ерманок. – М. : Металлургия, 1971. – 448 с.
4. Каргин, Б. В. Специальные виды волочения труб / Б. В. Каргин, В. Р. Каргин. – Самара : Издательство МИР, 2013. – 174 с.
5. Каргин В. Р. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе DEFORM-2D: учебное пособие / В. Р Каргин, А. П. Быков, Б. В. Каргин, Я. А. Ерисов. – Самара : Издательство МИР, 2011. – 170 с.

УДК 621.715.4

СПОСОБ АППРОКСИМАЦИИ ГЕОМЕТРИИ КОНТУРА ДЕТАЛИ ТИПА СТРИНГЕР ИЛИ ШПАНГОУТ ДЛЯ УЧЁТА ПРУЖИНЕНИЯ ПРИ ГИБКЕ С РАСТЯЖЕНИЕМ

Лапышёв А.А.¹, Шишлянников Д.И.²

1 – старший преподаватель кафедры «Самолетостроение» Ульяновского государственного технического университета.

2 – студент Ульяновского государственного технического университета.

Аннотация. В статье рассматривается способ аппроксимации контура детали переменного радиуса на участки с постоянными радиусами для дальнейшего учета пружинения. Данная операция является первым необходимым шагом при создании программного продукта для автоматического моделирования обтяжных пуансонов по имеющейся геометрии детали типа стрингер или шпангоут по имеющейся электронной модели детали. Способ основан на использовании би-дуг, гладких плоских кривых, полученных путём сопряжения двух круговых незамкнутых дуг, задаваемых двумя тангенциальными векторами.

Ключевые слова: пружинение, гибка с растяжением, обтяжной пуансон, аппроксимация, интерполяция.

DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR ACCOUNTING FOR SPRINGINESS IN BENDING WITH STRETCHING

A.A. Lapyshev¹, Shishlyannikov D.I.²

1 – Senior Lecturer, Department of Aircraft Engineering Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

2 – a student of Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

Abstract. The article discusses a method for dividing the contour of a detail with a variable radius into sections with constant radius to further account for spring formation. This operation is the first necessary step to create a software product for automatically modeling tight-fitting punches based on the available geometry of a stringer or frame type part based on the available electronic model of the detail. The method is based on the use of bi-arcs, smooth flat curves obtained by connecting two circular open arcs and interpolating two tangential vectors.

Key words: springiness, bending with stretching, tight punch.

Одним из путей развития заготовительно-штамповочного производства является автоматизация процесса конструирования оснастки. В настоящее время существует несколько программ, позволяющих автоматически рассчитывать контур пуансона для гибки деталей типа стрингер или шпангоут по имеющемуся контуру детали. Однако они либо являются импортными или имеют закрытый исходный код, что делает их своеобразным «чёрным ящиком», выдающим результат без возможности внести корректировки или проверить правильность построений. Подобные условия создают необходимость разработки нового программного продукта для построения профиля пуансона, в процессе которого необходимо пройти несколько этапов. Первым этапом является разработка алгоритма

аппроксимации контура детали сложной формы с возможностью выделения как можно меньшего числа участков с постоянными характеристиками. Это, в свою очередь, позволит использовать уже имеющиеся алгоритмы учета пружинения [1][5][6], для установления взаимосвязей между контурами детали и пуансона. Выделение участков с постоянными характеристиками необходимо по причине того, что существующие теории учета пружинения разработаны только для прямых и дуг, являющихся частями окружностей.

Для описания кривых сложной формы аналитическим методом существует несколько способов, однако, каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Наиболее распространённым является традиционный метод кусочно-линейной аппроксимации, представляющей собой триангуляцию симплексами первого порядка. Несмотря на простоту реализации в САПР, данный метод не может быть использован, так как для него невозможно в дальнейшем рассчитать пружинение.

Другим способом аналитического представления сложных криволинейных контуров являются простые и сложные функции, алгебраические кривые и сплайны, как правило, состоящие из набора полиномов и представленных параметрической формой записи. С их помощью можно описать большое количество существующих на данный момент криволинейных форм, однако, реализация данного метода носит весьма сложный характер и требует больших вычислительных мощностей, а иногда и просто представляется невозможным по причине трудности аппроксимации описываемого контура.

Наиболее эффективным способом описания геометрии сложного криволинейного контура детали являются представление его кривыми Безье или же би-дугами [3][7]. Кривые Безье высоких порядков способны описать более сложные геометрические формы, по сравнению с би-дугами, но повышение порядка таких кривых негативно сказывается на вычислительной эффективности. К тому же, принимая во внимание, что теории учёта пружинения при гибке с растяжением разработаны лишь для форм контуров, описываемых окружностями, видим, что использование би-дуг является не только рациональным и оптимальным решением, обеспечивающим дальнейший расчёт пружинения после оцифровывания, но и позволяющим добиться необходимого баланса между простотой и требуемой точностью [2].

Би-дуга – это гладкая плоская кривая, полученная путём соединения двух круговых незамкнутых дуг, имеющих общую касательную и задаваемых двумя тангенциальными векторами, причём, в частном случае, одной из дуг может являться и прямая. Очевидно, что для обеспечения гладкости такого соединения дуги должны иметь одну общую касательную в точке связи. Основной проблемой, возникающей при построении би-дуги, является наличие одной степени свободы. Саму би-дугу можно рассматривать как кривую, соединяющую три точки: у двух крайних из них есть тангенциальные векторы, определяющие границы и направление би-

дуги вблизи данной местности. Однако третья точка – точка соединения частей двух окружностей не имеет постоянного положения, из чего следует целый ряд интерполирующих кривых для одного плоского случая. Поэтому, для обеспечения уникального решения, существует набор ограничений, такой, что достаточно будет лишь одного из них для однозначного описания данной би-дуги [8]. Наиболее часто применяется построение по равным хордам

(Рис. 1), что и будет использоваться нами далее.

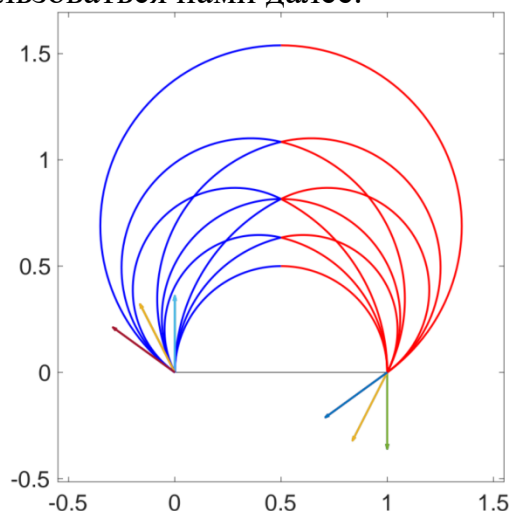


Рисунок 1. Принцип построения би-дуг по хордам

Также имеют место быть ограничения построением по параллельной касательной, фиксацией длины кривых, минимизацией скачка кривизны в точке сопряжения и др.

Существует большое количество видов би-дуг, которые классифицируются в зависимости от значения направления тангенциальных векторов на их концах, положения общей касательной, которая, как уже было сказано, определяется выбранными ограничениями, а также составными частями самой би-дуги. [3][4] Ниже приведены примеры несколько типов би-дуг, которые могут пригодиться для описания геометрии деталей различной формы:

1) Би-дуга С-образного вида, образованная двумя частями окружностей и имеющая единственную точку перегиба, совпадающую с точкой, образованной касательной к данной дуге, параллельной оси Ox (Рис. 2). Формы, описываемые С-образными би-дугами, встречаются в профилях и деталях наиболее часто.

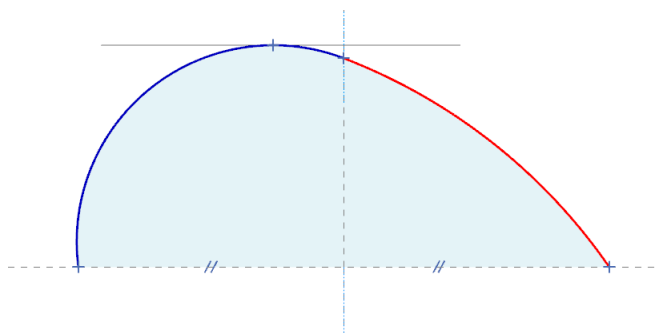


Рисунок 2. Би-дуга С-образного вида

2) Би-дуга S-образного вида, образованная двумя частями окружностей и имеющая две точки перегиба, образованные двумя касательными, параллельные оси Ox (Рис. 3). S-образные би-дуги, как правило, не используются для описания профилей, изготавливаемых при помощи профилегибочных станков, по причине невозможности создания геометрии с характерным обратным закруглением.

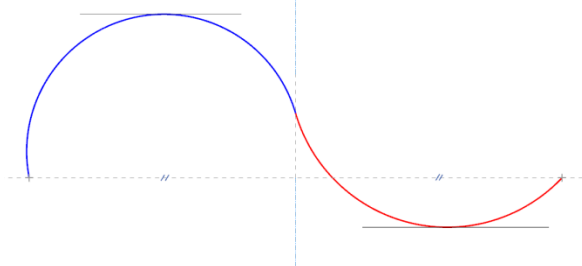


Рисунок 3. Би-дуга S-образного вида

3) Би-дуга J-образного вида, образованная дугой окружности и некоторой прямой, и имеющая единственную точку перегиба, совпадающую с точкой, образованной касательной к данной дуге, параллельной оси Ox (Рис. 4). J-образные дуги также встречаются при геометрическом описании различных профилей, однако их количество не так велико по сравнению с C-образными би-дугами.

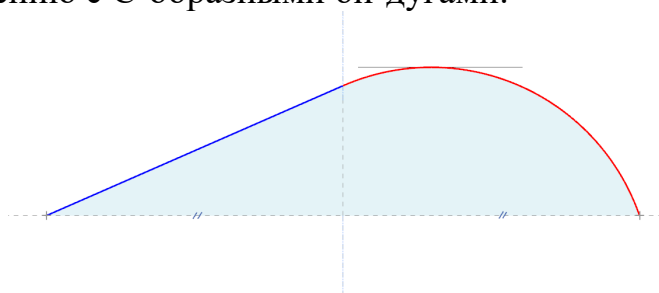


Рисунок 4. Би-дуга J-образного вида

Также возможно разделение би-дуг на другие виды по иным характеристикам, но в данном контексте будет использоваться именно такая классификация, потому что другие существующие би-дуги нами использоваться для описания геометрии деталей не будут.

Итак, каждая отдельная би-дуга соединяет собою какие-либо определённые две точки. При её построении следует применять локальную

систему координат, такую, что прямая, проведённая от одной точки к другой, будет лежать на оси Ox . Тогда, основными элементами, необходимыми для построения какой-либо определённой би-дуги, будут являться: локальная система координат Ox_1y_1 , тангенциальные векторы $\vec{a}$ и $\vec{b}$ из соединяемых точек A и B с их углами наклона $\angle\alpha$ и $\angle\beta$ относительно оси Ox_1y_1 соответственно, координаты точки сопряжения дуг, проходящая через неё общая для двух дуг касательная d , сами дуги окружностей с присущими им характеристиками (радиусы r_1, r_2 и центры скругления O_1, O_2 соответственно), равные хорды дуг c , а также их углы наклона $\angle\varphi$ относительно оси Ox . При учёте всех перечисленных элементов, полная схема построения би-дуги будет выглядеть так, как показано на Рис.5.

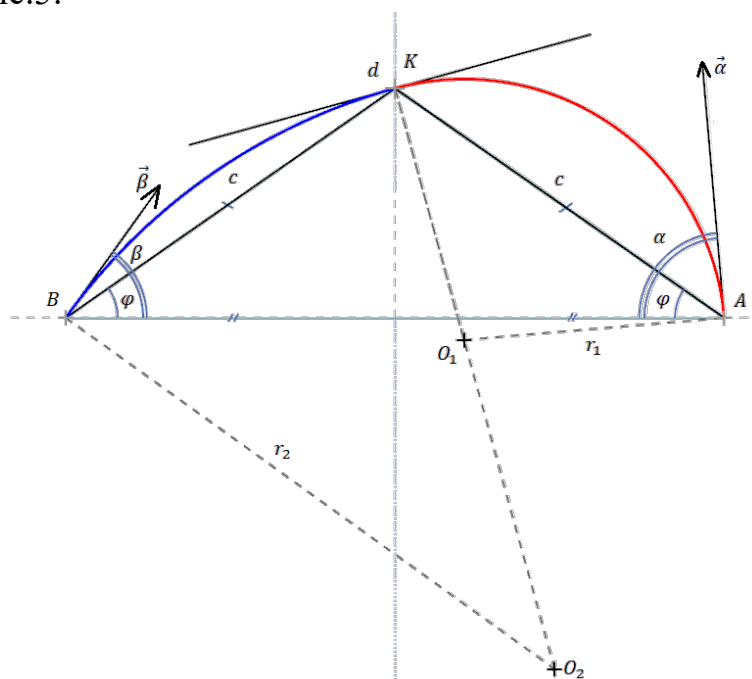


Рисунок 5. Общая схема построения би-дуги

Заметим, что данная схема описывает би-дугу С-образного вида, однако J-образная би-дуга может быть представлена как частный случай С-образной, для которой $d \equiv c \subset \vec{b}$, $\angle\beta = \angle\varphi$, а $r_2 \rightarrow \infty$.

Для дальнейшей аппроксимации контура необходимо установление некоторых геометрических зависимостей с выведением соответствующих им формул для общих случаев би-дуг.

Рассмотрим четырёхугольник $ABCD$, образованный пресечением координатной оси Ox , прямой d и векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$ (Рис. 6). Пусть $\angle\alpha - \angle\varphi = \angle\alpha'$ и $\angle\beta - \angle\varphi = \angle\beta'$. Отсюда $\angle ADK = 180^\circ - 2\angle\alpha'$ и $\angle BCK = 180^\circ - 2\angle\beta'$, так как $\triangle ADK$ и $\triangle BCK$ равнобедренные соответственно.

Тогда сумма углов $ABCD$ равна:

$$360^\circ = \angle ADK + \angle BCK + \angle ABC + \angle BAD =$$

$$= (180^\circ - 2\angle\alpha') + (180^\circ - 2\angle\beta') + (\angle\varphi + \angle\alpha') + (\angle\varphi + \angle\beta')$$

(1)

После упрощения (1) получим: $360^\circ = 360^\circ + 2\angle\varphi - \angle\alpha' - \angle\beta'$, откуда:

$$\angle\varphi = \frac{\angle\alpha' + \angle\beta'}{2}$$

(2)

Зная, что $\angle\alpha - \angle\varphi = \angle\alpha'$ и $\angle\beta - \angle\varphi = \angle\beta'$, из (2) получим:

$$\angle\varphi = \frac{(\angle\alpha - \angle\varphi) + (\angle\beta - \angle\varphi)}{2} = \frac{\angle\alpha + \angle\beta}{2} - \angle\varphi.$$

Тогда:

$$\angle\varphi = \frac{\angle\alpha + \angle\beta}{4} \quad (3)$$

Уравнение (3) содержит две неизвестные: $\angle\alpha$ и $\angle\beta$, то есть минимальные углы между осью Ox и тангенциальными векторами $\vec{a}$ и $\vec{b}$ соответственно (рис.6).

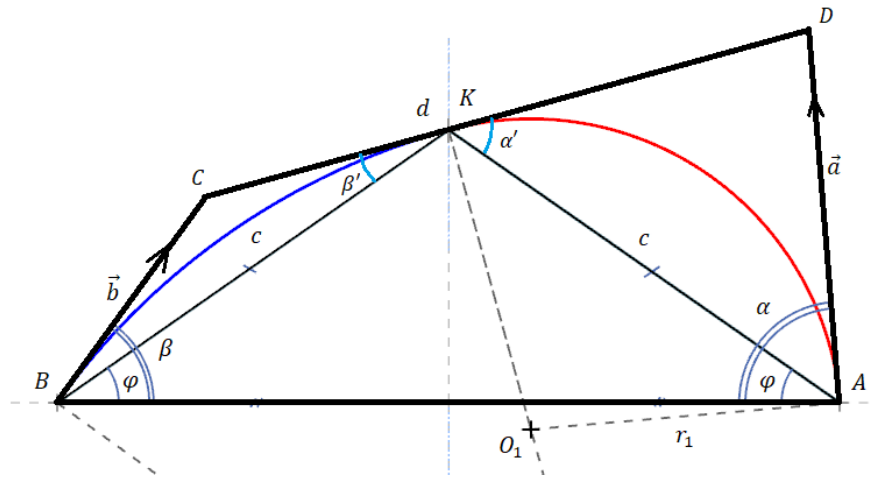


Рисунок 6. Методика нахождения $\angle\alpha$ и $\angle\beta$

Рассматривая построение би-дуго в контексте поставленной задачи, следует понимать, что в окрестностях каждой из точек, за исключением двух крайних, имеется не менее двух других, определяющих своим совместным положением примерный радиус и, как следствие, кривизну идеальной дуги, то есть той, которая имела бы полное совпадение с начальной, на некотором данном участке. Разумно будет определять кривизну и тангенциальные векторы $\vec{a}$ и $\vec{b}$ из точек А и В, учитывая совместное положение именно тех точек, что находятся в непосредственной близости к А и В. Тогда тангенциальным вектором будет выступать вектор касательной в точке А или В к окружности, построенной на точках P_1, P_2, P_3 и P_3, P_4, P_5 соответственно (Рис. 7).

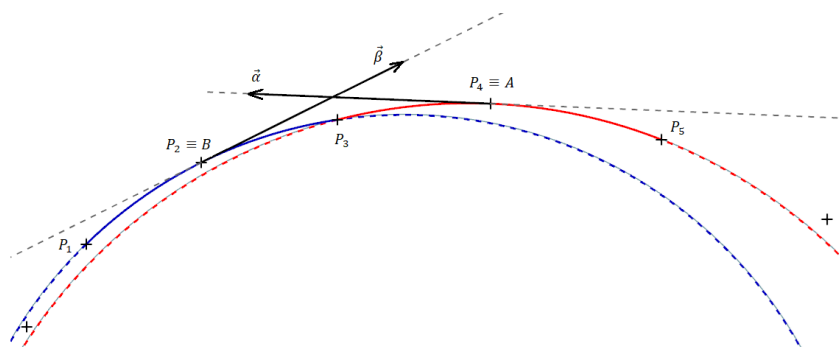


Рисунок 7. Определение кривизны и тангенциальных векторов $\vec{\alpha}$ и $\vec{\beta}$

Однако построение двух окружностей по трём заданным координатам усложняет вычислительный процесс и, более того, способствует появлению ошибок. Поэтому предлагаем использовать несколько иной подход. Данное условие также может быть достигнуто при известных координатах каждой из перечисленных точек посредством нахождения суммы произведений разности координат соседних точек и частных их расстояний между соседними точками по парам [2]. Пример для точки В:

$$\vec{\beta} = (P_2 - P_1) \frac{\|P_3 - P_2\|}{\|P_2 - P_1\|} + (P_3 - P_2) \frac{\|P_2 - P_1\|}{\|P_3 - P_2\|} \quad (4)$$

Формула (4) общего вида будет выглядеть следующим образом:

$$\vec{\tau} = (P_i - P_{i-1}) \frac{\|P_{i+1} - P_i\|}{\|P_i - P_{i-1}\|} + (P_{i+1} - P_i) \frac{\|P_i - P_{i-1}\|}{\|P_{i+1} - P_i\|}, \quad (5)$$

где P_i – точка начала вектора $\vec{\tau}$, P_{i-1} и P_{i+1} – соответствующие ей соседние точки.

Как видно из Рис. 7, минимальное количество точек, с помощью которых можно построить простейшую би-дугу, равняется 5. Но стоит заметить, что в таком случае будущий алгоритм становится зависимым от количества данных, полученных на входе, даже при анализе нескольких одинаковых геометрий. Для того чтобы избежать неоднозначности интерполяции одинаковых форм профилей при различных начальных условиях, следует сводить количество получаемых на выходе данных к минимуму, посредством увеличения количества анализируемых точек до максимума, заданного пределом допустимой погрешности.

Тогда алгоритм (Алг. 1) построения би-дуги будет выглядеть следующим образом:

Строится утверждённая би-дуга из n начально заданных точек;

ЦИКЛ [

Точка А сдвигается с P_{n-1} на P_n , а затем n увеличивается на единицу;

Строится новая пробная би-дуга с обхватом точек на 1 больше, чем в предыдущей итерации;

Происходит проверка допущенной погрешности;

ЕСЛИ:

А) ... погрешность удовлетворяет допустимой, то пробная би-дуга становится утверждённой, и **ЦИКЛ** продолжается;

Б) ... погрешность не удовлетворяет допустимой, то **ЦИКЛ** заканчивается, а на выход передаётся предыдущий расчёт утверждённой (а не пробной) би-дуги;

КОНЕЦ ЕСЛИ

КОНЕЦ ЦИКЛ

В большинстве случаев построенная би-дуга гарантированно проходит только через точки А и В и лишь в частных случаях проходит через остальные точки построения. Из-за этого и возникает погрешность геометрического построения, которая может быть измерена из центра соответствующей окружности би-дуги построением прямой, проходящей через точку P_i с искомой погрешностью и пересекающей соответствующую часть окружности би-дуги в точке P'_i (Рис. 8).

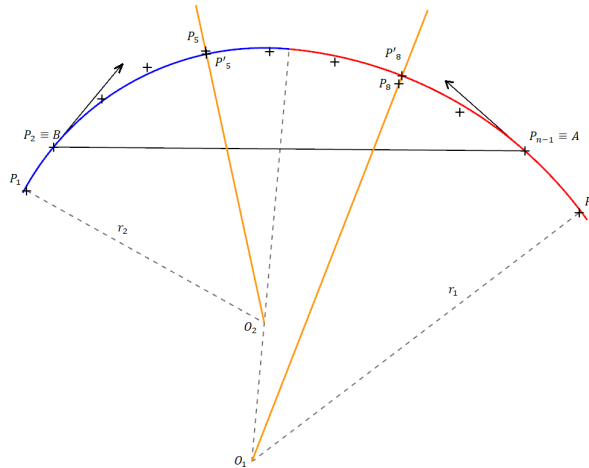


Рисунок 8. Определение погрешности при построении би-дуги

Тогда искомая погрешность будет найдена измерением соответствующего отрезка $P_i P'_i$, а цикл продолжится до тех пор, пока результаты данных измерений удовлетворяют принципу максимума Хаусдорфа. В случае же, если погрешность определяется относительно прямой, она может быть получена вычислением длины перпендикуляра, опущенного из P_i к данной прямой.

Алгоритм построения би-дуги С-образного вида (Рис. 5), (Рис. 8):

Задать количество n начально анализируемых точек и определить $B \equiv P_2$, $A \equiv P_{n-1}$;

Задать локальную систему координат на точках А и В;

Определить тангенциальные вектора $\vec{\alpha}$ и $\vec{\beta}$ из формулы (4);

Найти наименьшие углы наклона $\angle\alpha$ и $\angle\beta$ между $\vec{\alpha}$ и $\vec{\beta}$ и осью Ox соответственно;

Найти значение угла $\angle\varphi$;

Найти координаты точки сопряжения дуг K пересечением $\overrightarrow{BK}$ под $\angle\varphi$ и нормали $\vec{n}$ к оси Ox , проведённой из середины AB : $\overrightarrow{BK} \cap \vec{n} = K$;

Из точки K найти нормаль $\vec{d}_n$ к общей касательной d , повернув вектор $\overrightarrow{KB}$ на угол, равный $90^\circ - \angle\beta'$;

Получить $\vec{\alpha}_n$ и $\vec{\beta}_n$, нормировав вектора $\vec{\alpha}$ и $\vec{\beta}$ соответственно во внутреннюю часть би-дуги;

Найти координаты центров окружностей O_1 и O_2 пересечением нормалей $\vec{\alpha}_n$ и $\vec{\beta}_n$ с $\vec{d}_n$ соответственно: $\vec{\alpha}_n \cap \vec{d}_n = O_1$; $\vec{\beta}_n \cap \vec{d}_n = O_2$;

Найти значения r_1 и r_2 , используя теорему Пифагора и координаты точек A, O_1 и B, O_2 соответственно;

Проверить нарушение погрешности, выполнив Алг. 1 со всеми вытекающими из него действиями.

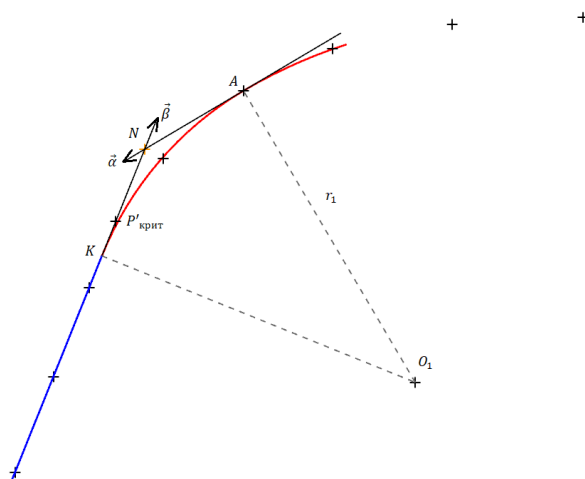


Рисунок 9. Построение би-дуги J-образного вида

Алгоритм построения би-дуги J-образного вида с началом в прямой (Рис. 9):

Предварительно определив, что прямая переходит в дугу, довести её до мнимой точки перегиба $P'_{\text{крит}}$ и оттуда продлить вектор $\vec{\beta}$;

Задав начальное количество анализируемых дугой точек, определить точку A и тангенциальный вектор $\vec{\alpha}$ из формулы (4);

Пересечь вектора $\vec{\alpha}$ и $\vec{\beta}$, получив точку N : $\vec{\alpha} \cap \vec{\beta} = N$;

Определить расстояние S_A , от N до A ;

Провести вектор $\overrightarrow{NK}$ длиной S_A , исходящий из N и параллельный вектору $\vec{\beta}$: $\overrightarrow{NK} \parallel \vec{\beta}$;

Нормировать $\vec{\alpha}$ из A , и $\overrightarrow{NK}$ из K во внутреннюю часть би-дуги, получив $\vec{\alpha}_n$ и $\overrightarrow{NK}_n$ соответственно.

Определить координаты точки O_1 пересечением векторов $\overrightarrow{\alpha_n}$ и $\overrightarrow{NK_n}$:

$$\overrightarrow{\alpha_n} \cap \overrightarrow{NK_n} = O_1;$$

Найти значение r_1 , используя теорему Пифагора и координаты точек A и O_1 .

Проверить нарушение погрешности, выполнив Алг. 1 со всеми вытекающими из него действиями.

Алгоритм построения би-дуги J-образного вида с началом в дуге (Рис. 10):

Предварительно определив, что дуга переходит в прямую, присвоить все точки, не принадлежащие прямой, окружности, следующим образом:

ЕСЛИ:

А) ... погрешность удовлетворяет допустимой, то построить би-дугу для всех необработанных до прямой n точек такую, что $P_2 \equiv B'$, $P_{n-1} \equiv A'$;

Определить тангенциальный вектор $\vec{\beta}$ в точке $P_{n-1} \equiv A'$ из данной последней построенной би-дуги, приняв соответствующую точку за точку B ($A' \equiv B$);

ИНАЧЕ:

Б) ... построить би-дугу до допустимой погрешности, а затем достроить к ней дугу постоянного радиуса r_0 такого, что $r_0 = r_1$ для оставшихся m точек, не вошедших в би-дугу;

Определить тангенциальный вектор $\vec{\beta}$ в точке P'_{m-1} , полученной при пересечении достроенной дуги радиуса r_0 и прямой, проходящей из центра O_1 последней построенной би-дуги и точки P_{m-1} , приняв соответствующую точку за точку B ($P'_{m-1} \equiv B$);

КОНЕЦ ЕСЛИ

Построить прямую d на нескольких следующих точках, определив тем самым вектор $\vec{\alpha}$ такой, что $\vec{\alpha} \in d$;

Пересечь вектора $\vec{\alpha}$ и $-\vec{\beta}$, получив точку N : $\vec{\alpha} \cap -\vec{\beta} = N$;

Определить расстояние S_B , от N до B ;

Провести вектор $\overrightarrow{NK}$ длиной S_B , исходящий из N и параллельный вектору $\vec{\alpha}$: $\overrightarrow{NK} \parallel \vec{\alpha}$;

Нормировать $-\vec{\beta}$ из B , и $\overrightarrow{NK}$ из K во внутреннюю часть би-дуги, получив $\vec{\beta_n}$ и $\overrightarrow{NK_n}$ соответственно.

Определить координаты точки O_2 пересечением векторов $\vec{\beta_n}$ и $\overrightarrow{NK_n}$:

$$\vec{\beta_n} \cap \overrightarrow{NK_n} = O_2;$$

Найти значение r_2 , используя теорему Пифагора и координаты точек B и O_2 .

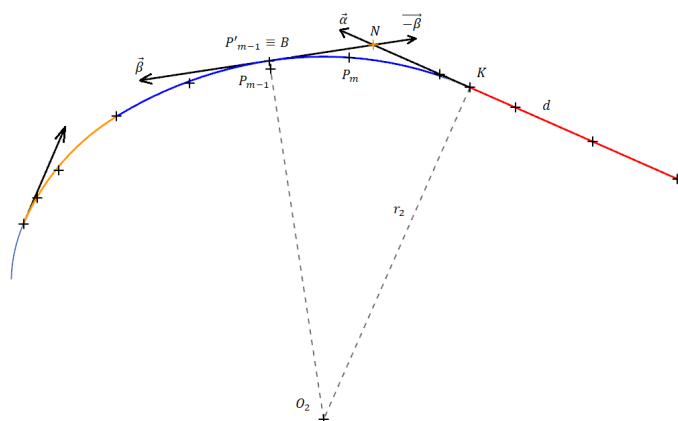


Рисунок 10. Построения би-дуги J-образного вида с началом в дуге

Проверка нарушений погрешностей в данном случае уже не требуется, так как алгоритм определяет единственное при таковых условиях решение.

Отдельно вычисленные по всей длине линии контура би-дуги соединяются между собой в точках, где происходит совпадение тангенциальных векторов, как правило, в максимальной близости к концам би-дуг, поэтому данные точки совпадения в полной мере способны обеспечить гладкость сопряжения.

Совокупность выше представленных алгоритмов была интегрирована в цифровую среду и реализована в виде программного скрипта при помощи языка Python для оптимизации вычислительных процессов и повышения производительности. Алгоритм был протестирован на геометрических моделях нескольких видов и уровней сложности, показал свою жизнеспособность и пригодность к использованию при решении задач представленного спектра. (Рис. 11)

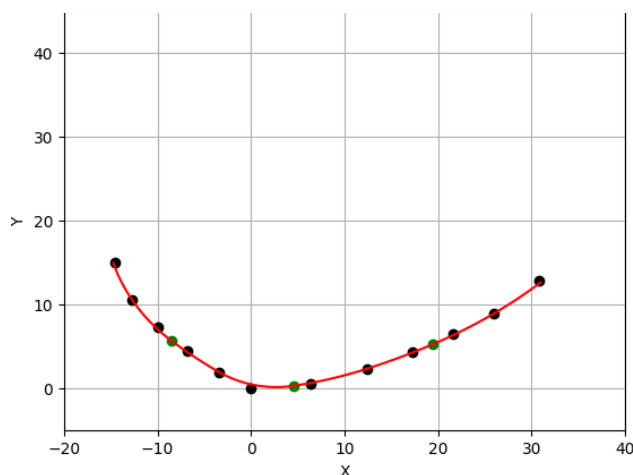


Рисунок 11. Реализация алгоритма в программной среде Python

Представленный способ аппроксимации геометрии контура детали решает проблему интерполяции при анализе сложных форм, а также позволяет разбить их на конечное количество участков с постоянными

характеристиками, что даёт возможность использования различных методик учета пружинения при гибке с растяжением. Безусловно, это только первый, но необходимый шаг в разработке программного продукта для автоматического создания геометрии контура обтяжного пуансона по имеющимся характеристикам детали.

Список литературы

1. Лапышёв А.А., Разработка метода учета пружинения профиля при гибке с растяжением / Лапышёв А.А., Шишлянников Д.И. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26, № 4(3). – С. 415-427.
2. Bahattin Koç, Сглаживание файлов STL с помощью кривых biarc максимальной подгонки для быстрого прототипирования / Bahattin Koç, Yawei Ma, Y. S. Lee // Журнал Rapid Prototyping, Промышленное машиностроение. – 2000. – Т. 6, изд. 3. – С. 186-205.
3. Курносенко А. И., Биарки и билены / Научный журнал // Автоматизированное геометрическое проектирование. – 2013. – Т. 30, вып. 3. – С. 310-330.
4. Сабин, М.: Использование кусочных форм для численного представления формы. // Институт информатики и автоматизации Венгерской академии наук, 1976. ISBN 9789633110355.
5. Бодунов Н. М., Формообразование профильных деталей на оборудовании с ЧПУ / Бодунов Н. М., Дружинин Г. В., Раздайбедин А. А. // Учебное пособие, Казанский государственный технический университет им. А. Н. Туполева. – Казань, 2008. – С. 65-87.
6. Лысов М. И., Теория и расчёт процессов изготовления деталей методами гибки / изд. «Машиностроение», – Москва, 1966. – С. 100-141.
7. Бартелс Р. Х. Введение в сплайны для использования в компьютерной графике и геометрическом моделировании / Бартелс Р. Х., Битти Дж. К., Барски Б. А. // «Кривые Безье», Глава 10. – Сан-Франциско, Калифорния, 1998. – С. 211-245.
8. Энрико Бертолацци, Марко Фредо, Приложение к надёжному вычислению biarc. / Автоматизированное проектирование и его приложения, – 16(5), 2019. DOI: <https://doi.org/10.14733/cadaps.2019.822-835>.

УДК 621.981

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ПОСТ-ПРОЦЕССОРА И ГЕНЕРАЦИИ ДАННЫХ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРЕССОВ ПГР

Марковцев В.А.¹, Илюшкин М.В.², Булычов О.И.³

1 - д.т.н., генеральный директор АО "Ульяновский НИАТ"

2 - к.т.н., зам. генерального директора по науке АО "Ульяновский НИАТ"

3 - инженер-программист, АО "Ульяновский НИАТ".

Аннотация. В статье представлены ключевые особенности создания пост-процессора и генерации данных управляющей программы для прессов ПГР с ЧПУ.

Ключевые слова: виртуальная модель, ПГР-6, пост-процессор, изгиб с растяжением, поэтапный метод обтяжки.

DETAILS OF CREATING A POST-PROCESSOR AND GENERATING CONTROL PROGRAM DATA FOR PGR PRESSES

Markovtsev V. A.¹, Ilyushkin M.V.², Bulychov O.I.³

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

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

3 – software engineer, PC "ULYANOVSK NIAT".

Abstract. The article presents the key features of creating a post-processor and generating control program data for CNC PGR presses.

Keywords: virtual model, PGR-6, post-processor, bending with stretching, step-by-step tightening method.

Основная технологическая задача по определению параметров технологического процесса, оснастки и заготовки при формообразовании профильных деталей методами гибки ставится следующим образом. Известна геометрия детали, характеристики материала детали. Необходимо определить геометрические параметры инструмента (пуансона), силовые параметры процесса, программируемые параметры к устройству ЧПУ и размеры заготовки, чтобы при заданных допустимых величинах деформации получить в результате формообразования геометрию детали, равную заданной.

Одним из этапов решения такой задачи является разработка *пост-процессора* — специальной программы, которая по заданной геометрии пуансона, размеру заготовки и другим параметрам сможет генерировать данные управляющей программы ЧПУ.

В процессе гибки на станках ПГР (рис. 1) система ЧПУ должна обеспечить поворот крыльев станка и перемещение зажимных губок растяжных цилиндров по заданной траектории в зависимости от угла изгиба заготовки.

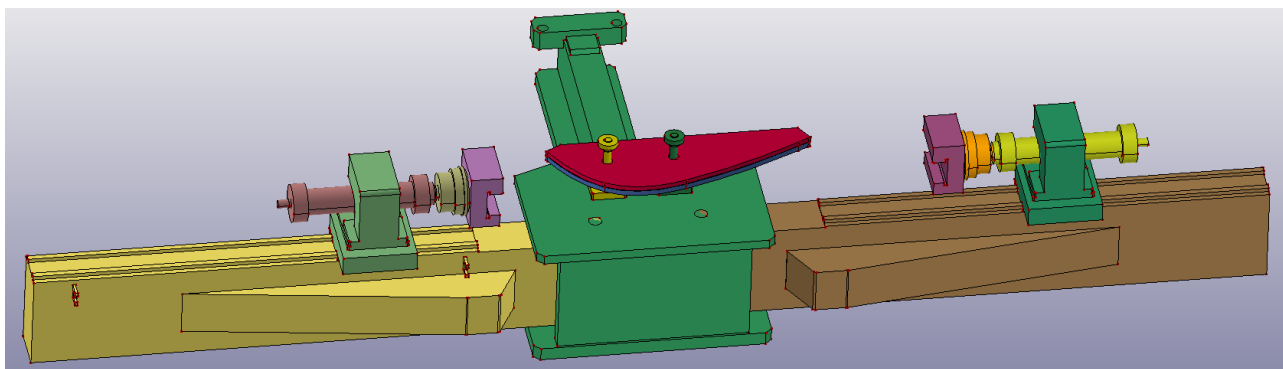


Рисунок 1. Упрощенная 3D модель станка ПГР, на котором решалась технологическая задача, с установленным пуансоном

Начальное положение пуансона, размеры припусков внутри и вне пуансона, и положение заготовки к этому этапу считаем уже известными. Положения кареток легко найти из начального положения заготовки. С помощью касательных, проведенных к крайним точкам кривой пуансона, вычисляются максимальные углы поворота крыльев.

Разобьем максимальный угол поворота крыла на m равных шагов. Исходя из угла поворота на каждом шаге, найдем точку оси вращения цилиндров. Далее, найдем точку - касательную к точке схода профиля. Будем искать функцию перемещения штока растяжного цилиндра δ , исходя из длины уже обтянутой части, и длины отрезка от точки касания до зажимных губок, с учетом дополнительных растяжений на каждом шаге.

Для упрощения заготовку заменим гибкой нитью, которой соответствует продольная ось профиля, являющаяся нейтральной линией. После зажима заготовки она подвергается предварительному растяжению и ее длина L увеличивается на заданную величину. В процессе изгиба ось поворота растяжного цилиндра движется по дуге окружности с центром O_1 , а шток цилиндра направлен по **касательной** к контуру пуансона в месте схода профиля (рис. 2).

Если бы нить изгибалась без растяжения, то центр зажимных губок описывал бы *эвольвенту* кривой участка пуансона. Но на станке с ЧПУ вместо классических схем растяжение-изгиб (РИ) или растяжение-изгиб-растяжение (РИР) лучше использовать дифференцированное растяжение в зависимости от угла поворота крыла. Заготовку изгибают по пуансону с приложением дополнительного растяжения в процессе изгиба. Величину растяжения увеличивают в соответствии с расчетной зависимостью. Это повышает точность изготовления деталей за счет уменьшения вредного воздействия сил трения на заготовку со стороны пуансона [2].

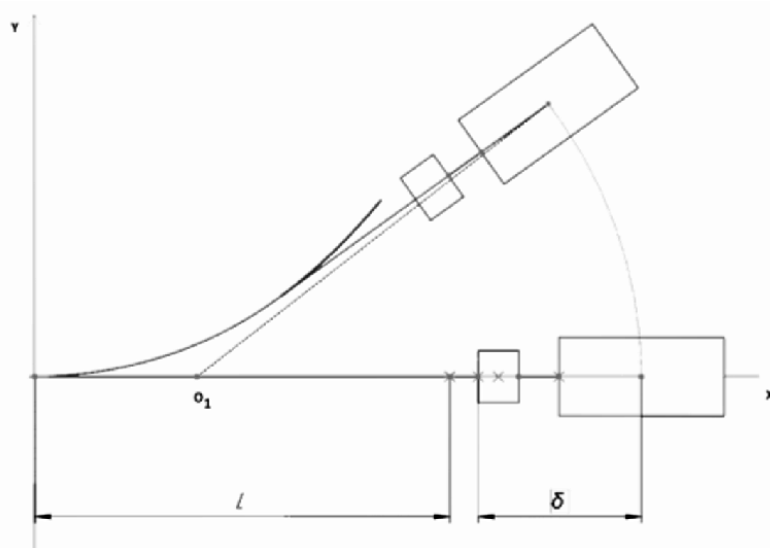


Рисунок 2. Кинематика процесса изгиба с растяжением на прессах ПГР

В общем случае функция перемещения штока растяжного цилиндра δ является нелинейной. В зависимости от формы контура гибочного пуансона, его размеров, величины асимметрии, положения оси поворота растяжного цилиндра на гибочном рычаге в различных частях траектории она может принимать значения большие или меньшие начального. Отметим, что при повороте крыла возникает сжатие заготовки, которое необходимо компенсировать движением цилиндров (даже в схеме РИ или РИР).

Для упрощения примем число шагов $m=10$ и учтем, что правая и левая части траектории должны быть заданы одинаковым количеством шагов [1]. На рис. 3 изображены найденные на ЭВМ в пост-процессоре положения органов пресса и заготовки:

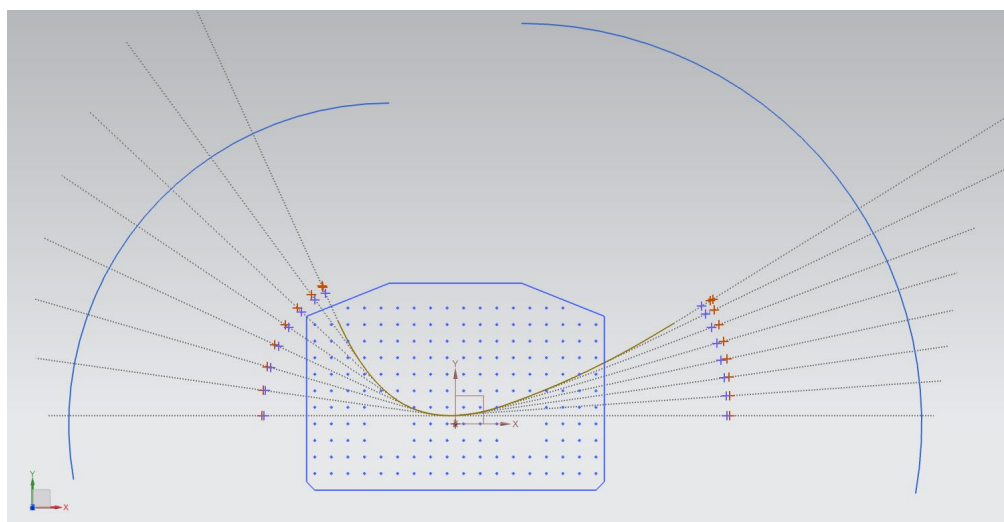


Рисунок 3. Положения крыльев пресса и заготовки при 10 шагах обтяжки. Ближние к центру точки — положения центров зажимных губок в случае изгиба без растяжения (схема РИ). Дальние точки — их положения в случае дифференцированного растяжения в процессе обтяжки.

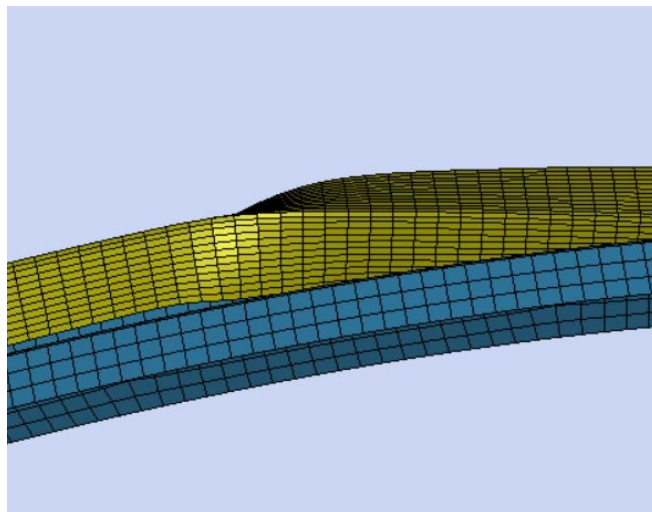
На практике число шагов m будет зависеть от характеристик и аппаратных ограничений конкретной модели пресса, таких как скорости цилиндров, минимальные и максимальные углы поворота и минимальные и максимальные смещения цилиндров на каждом шаге. Например, если скорость движения штока цилиндра гораздо меньше скорости поворота крыла, то число шагов надо подбирать так, чтобы угол поворота крыла был бы не более 2° , в противном случае на некоторых шагах цилиндры растяжения не успеют компенсировать возникающее сжатие.

Таблица 1

Пример данных для ЧПУ (для левого крыла)

№ шага	Угол крыла	δ (схема РИ)	% растяжения	δ (при дифф. растяжении)	% растяжения
1	0	475	0%	475	0.5%
2	0	470	0.5%	470	0.5%
3	9	458	0.5%	454	0.86%
4	18	440	0.5%	433	1.21%
5	27	419	0.5%	408	1.57%
6	36	396	0.5%	381	1.93%
7	45	374	0.5%	356	2.29%
8	54	357	0.5%	335	2.64%
9	63	351	0.5%	325	3%
10	63			315	4%

Полученные данные можно выгрузить в конечно-элементный пакет (LS-DYNA) и смоделировать процесс формообразования. Например, при моделировании для схемы РИР выявлены возможные проблемы – вылет заготовки из пуансона (рис. 4), либо проблема с равномерностью толщины получаемой детали (утонение по краям детали, рис. 5).



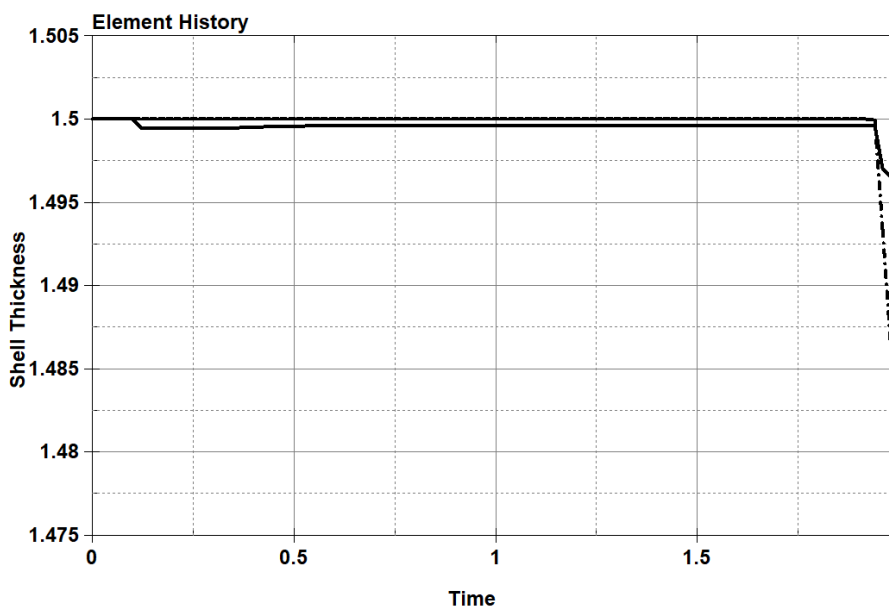


Рисунок 4. Вылет заготовки из пуансона

Рисунок 5. Утонение по краям детали (пунктиром – толщина детали ближе к ее краю, сплошная линия – толщина ближе к середине).

В случае изгиба на большие углы или профиля определенного сечения может оказаться, что расчет в конечно-элементном пакете (например LS-DYNA) покажет значения деформаций, ведущих к различным видам брака заготовки (рис. 6).

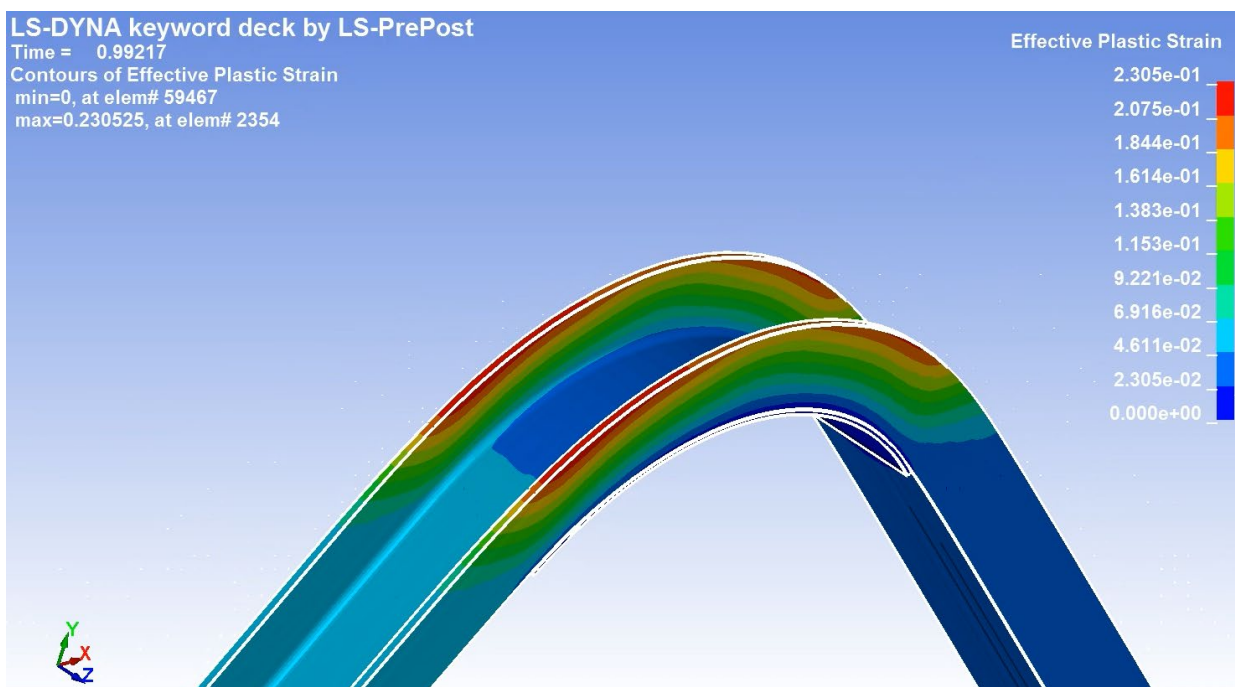


Рисунок 6. Возможное разрушение полок швеллера при изгибе

В таком случае предлагается поэтапный метод обтяжки. Заготовка на промежуточных этапах подвергается термообработке (отжигу) в печи, позволяющему снять остаточные напряжения, а в пост-процессор вводится

На каждом этапе из текущего предельного угла гибки автоматически рассчитываются максимальные углы поворота крыльев прессы. Так же можно задать дополнительные растяжения, применяемые в начале промежуточных этапов (в процентах от начальной длины заготовки). Пост-процессор позволяет быстро переключиться между этапами и увидеть положения заготовки и зажимных губок. Примеры первых двух этапов обтяжки см. на рис. 7-8.

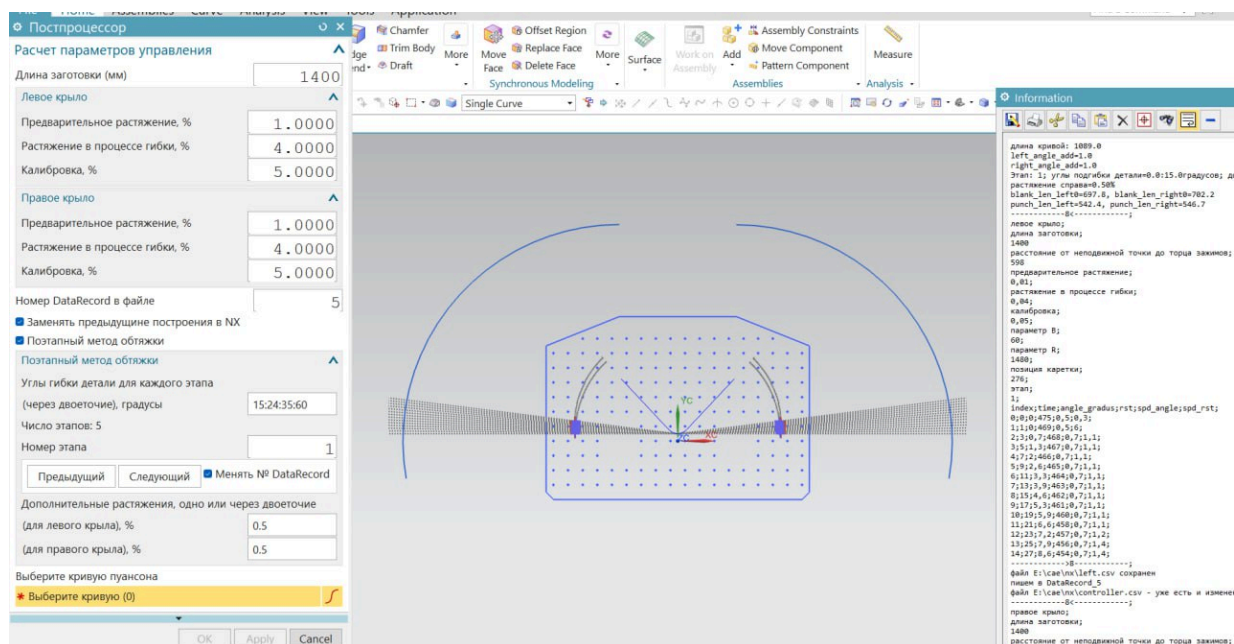


Рисунок 7. Первый этап обтяжки, угол гибки 15°

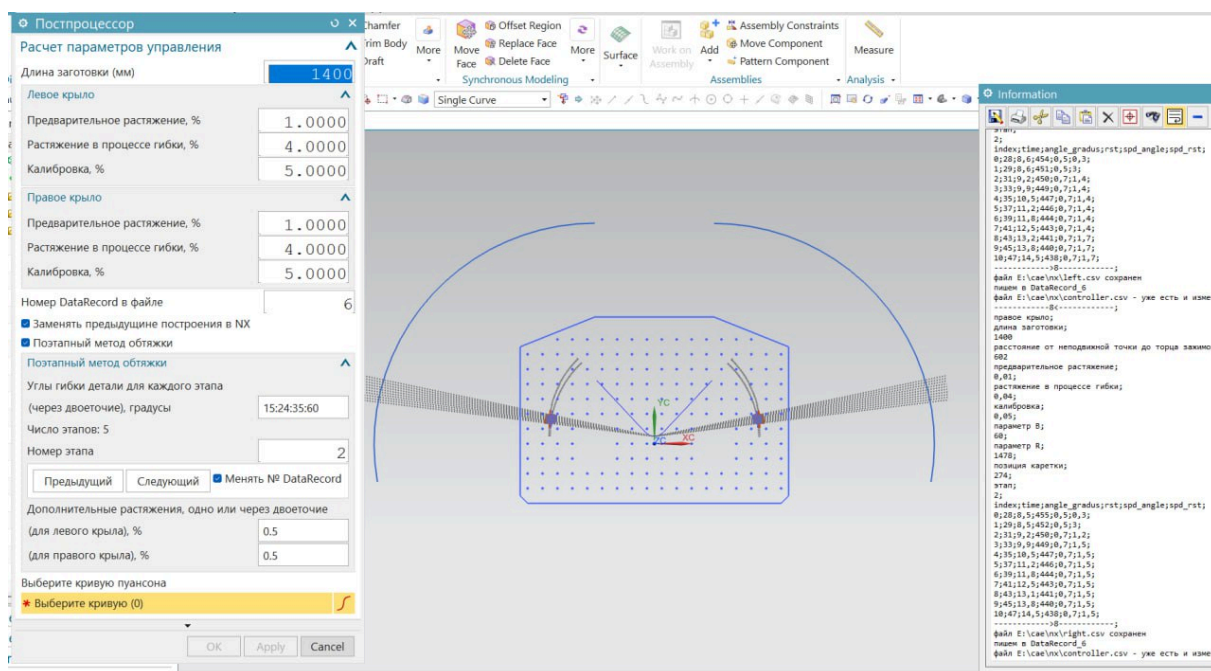


Рисунок 8. Второй этап обтяжки, угол гибки 24°

Разработанный пост-процессор использован для работы с прессом ПГР-6 и с его помощью получены годные детали в автоматическом режиме обтяжки.

Список литературы

1. Бодунов, Н.М. Формообразование профильных деталей на оборудовании с ЧПУ : учебное пособие / Н.М. Бодунов, Г.В. Дружинин, А.А. Раздайбедин. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2008. – 92 с.
2. Максименков, В.И. Повышение качества оснастки для изготовления слоистых оболочек : учебное пособие / В.И. Максименков, М.В. Молод. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 67 с.
3. Лысов, М.И. Формообразование деталей гибкой. / М.И. Лысов, Н.В.Сосов. – М.: «Машиностроение», 2001. – 387 с.

УДК 669.715

**ОБОСНОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА
ТЕХНОЛОГА С СИСТЕМОЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ
ТОНКОЛИСТОВОЙ ОБОЛОЧКОВОЙ ДЕТАЛИ, ПОЛУЧАЕМОЙ В
ПРОЦЕССЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОБТЯЖКОЙ НА РАСТЯЖНО-
ОБТЯЖНОМ ПРЕССЕ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

**Михеев В.А.¹, Бодров В.В.², Багаутдинов Р.М.², Бухаров И.В.²,
Батурин А.А.², Булычов О.И.¹, Сурудин С.В.¹,
Тарасов В.А.¹, Воробьев Д.И.¹**

1 – Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, г. Самара.

2 – Уральский инжиниринговый центр, г. Челябинск

Аннотация. Рассмотрен современный подход к управлению производством с использованием средств компьютерного моделирования и специального программного обеспечения, составляющие единую информационно-управляемую цифровую платформу, на основе которой можно создать систему интеллектуального управления оборудованием. Обоснована возможная структура и базовый функционал предполагаемого автоматизированного рабочего места АРМ технолога. Приведены основные этапы разработки в информационной среде технологического процесса формообразования обтяжки тонколистовой оболочковой детали с учетом геометрических особенностей и приложений для ускоренного вычисления по оптимизации управляющей программы УП, которая выполняется при активном использовании кинематической модели виртуального растяжно-обтяжного пресса с графическим интерфейсом управления.

Ключевые слова: управление производством, автоматизированное рабочее место, обтяжка, оболочковая деталь, виртуальная модель, растяжно-обтяжной пресс.

**JUSTIFICATION OF THE AUTOMATED WORKPLACE OF A
TECHNOLOGIST WITH A SYSTEM FOR DETERMINING
DEFORMATIONS OF A THIN-SHEET SHELL PART OBTAINED
DURING THE FORMING PROCESS BY A TIGHT-FITTING ON A
STRETCH-TIGHT PRESS WITH SOFTWARE CONTROL**

**Mikheev V.A.¹, Bodrov V.V.², Bagautdinov R.M.², Bukharov I.V.²,
Baturin A.A.², Bulychov O.I.¹, Surudin S.V.¹,
Tarasov V.A.¹, Vorobyov D.I.¹**

1 – Samara National Research University named after academician S.P. Korolev, Samara.

2 – Ural Engineering Center, Chelyabinsk

Abstract. A modern approach to production management using computer modeling tools and special software that make up a single information-driven digital platform is considered., on the basis of which it is possible to create an intelligent equipment management system. The possible structure and basic functionality of the proposed automated workplace of an ARM technologist are substantiated. The main stages of development in the information environment of the technological process of forming a tight-fitting thin-sheet shell part are given, taking into account geometric features and applications for accelerated calculation to optimize the control program of the control unit, which is performed with the active use of a kinematic model of a virtual stretch-tight press with a graphical control interface.

Key words: *production management, automated workplace, skin-tight, shell part, virtual model, stretch-tight press.*

Введение

Предстоящие изменения в технологии формообразования обтяжкой связаны с усложнением обводообразующих поверхностей современных самолетов, с пространственной формой листовых обшивок в виде оболочковых деталей и соприкасающихся с ними деталей каркаса. Повысились требования их совместимости при сборке из-за низкой точности формы внешних обводов, получающихся после формообразующих операций и разнотолщинности стенки деталей обшивок. Кроме того, значительные габаритные размеры деталей обшивок, а также сравнительно небольшое их число на самолетах определили особые требования к автоматизированным средствам их проектирования.

Задачи автоматизированного проектирования на производстве тесно связаны с организацией работы автоматизированных рабочих мест (АРМ) в составе локальной (Internet) сети. Автоматизированные рабочие места являются основным инструментом общения человека с вычислительными системами, на которых специалист выполняет часть ручных операций и операции, требующие творческого подхода при решении текущих задач и анализа функций управления. С помощью АРМ усиливается интеграция управленческих функций, и каждое более или менее «интеллектуальное» рабочее место обеспечивает работу в многофункциональном режиме. В настоящее время АРМ строятся, в основном, на базе персонального компьютера, на котором установлено клиентское общее и специальное программное обеспечение. Выбор его конфигурации и оборудования для реальных видов работы носит конкретный характер, диктуемый специализацией (предметной областью), поставленными целями, объемами работ.

Сегодня применение компьютерных технологий позволяет провести автоматизацию практически любой сферы деятельности человека, в том числе и технолога заготовительно-штамповочного производства авиационного предприятия, используя средства компьютерного моделирования и единую информационно-управляемую цифровую платформу, на основе которой можно создать систему интеллектуального управления оборудованием. Автоматизированная система является основным инструментом общения технолога с вычислительными системами. Выбор базовой системы построения предполагаемого автоматизированного рабочего места (АРМ) технолога в конечном итоге сводится к основному набору функциональных свойств по назначению:

- моделирование процесса формообразования обтяжкой, с помощью разработанной и предустановленной в поставляемом программном обеспечении виртуальной модели прессы и объемной модели обтяжного пуансона, построение модели напряжённо-деформированного состояния листовой заготовки при обтяжке;

- отработка технологии обтяжки оболочковой детали до его физического изготовления, определение последовательности и параметров шаговых движений растяжно-обтяжного прессы;
- определение принципиальной возможности обтяжки оболочковой детали данной конфигурации и предложенного материала листовой заготовки;
- проектирование технологических процессов (ТП), редактирование имеющихся технологических процессов;
- оптимизация объемной формы и положения обтяжного пуансона при размещении на столе в вертикальных плоскостях симметрии прессы;
- последовательная оптимизация технологических параметров обтяжки для максимально точного обеспечения заданной геометрии и минимальной разнотолщинности готового изделия при соблюдении требуемых величин деформации в характерных точках поверхности оболочковой детали;
- формирование матрицы управления обтяжки листовой заготовки с возможностью его передачи в АРМ оператора прессы для осуществления обтяжки в автоматическом режиме;
- обеспечение возможности создания, хранения и дополнения базы данных, содержащей все необходимые параметры листового материала и технологического процесса, внесение и хранение изменений в ТП при изменении конструкции оболочковой детали или совершенствовании ТП.

Для обеспечения качества и надежности автоматизированной системы (АРМ-технолога) необходимо проводить испытание - проверку соответствия требованиям нормативных документов. Испытания автоматизированной системы (АРМ-технолога) регламентируются ГОСТ Р 59792-2021 «Виды испытаний автоматизированных систем». Основой АРМ технолога должна являться база типовых технологий, применяемых на данном предприятии.

Однако типовые технологии, применяемые на данном предприятии, реализовывали ручную, отсутствовало отечественное растяжно-обтяжное оборудование с программным управлением и при построении обтяжных пуансонов использовали макет обводообразующей поверхности агрегата самолета путем копирования поверхности слепка и строили контрольно-доводочную «болванку» с кривизной рабочей поверхности, соответствующей кривизне той или иной детали обшивки. Такую «болванку» до сих пор используют в качестве обтяжного пуансона. При этом направления боковин объемной формы и внешней поверхности обтяжного пуансона выставлены параллельно направлениям дискретного каркаса самолета, состоящего из шпангоутов и стрингеров. При размещении таковой конструкции обтяжного пуансона на нижний стол прессы параллельно его продольным боковинам направление растяжения при обтяжке не совпадает с направлением проката листового материала, что усложняет условия формообразующей операции листовой заготовки на

растяжно-обтяжном прессе. Нарушается симметрия внешней нагрузки, приводящая к неравномерной деформации растяжения и поперечному сдвигу тонколистового материала при формообразовании оболочки по поверхности такого обтяжного пуансона и, при усложнении пространственной формы, к гофрообразованию свободных участков листовой заготовки перед зажимами прессы [1, 2, 3].

Однако данную производственную ситуацию можно легко изменить. Требуется только построить геометрическую модель твердотельного обтяжного пуансона на принципах симметрии с учётом направления прокатки листовой заготовки, сориентировать поверхность обтяжного пуансона относительно основной линии кривизны по его формообразующему продольному контуру, направление которого совпадает с направлением растяжения при обтяжке, а сам он помещен в вертикальную плоскость симметрии растяжно-обтяжного прессы [4, 5].

Экспериментально с помощью верификации расчетной модели было доказано, что такое совпадение, оказалось возможным, что обеспечивало симметричный характер развития очага деформации, и преимущественное образования зоны пластической деформации в центральной части листовой заготовки. Для устранения проблемы, необходимо разработать обтяжной пуансон, который обеспечит точное соответствие его объемной формы и внешней поверхности данным калибровочной наладки при установке спроектированного обтяжного пуансона на рабочий стол прессы. Ключевым этапом решения этой проблемы становится определение формообразующего контура поверхности обтяжного пуансона. Требуется использование программного обеспечения CAD NX12 для проведения анализа поверхности и точного вычисления положения формообразующего контура поверхности обтяжного пуансона.

Технологический процесс формообразования обтяжкой на растяжно-обтяжном прессе с программным управлением сопровождается процессами обработки информации, и представляют собой совокупность операций, осуществляемых в строго определенной последовательности с начального момента появления данных до окончательного момента получения результатов. Этот период можно подразделить на четыре основных этапа: первичный, подготовительный, основной и заключительный. На первичном этапе осуществляется сбор исходных данных, их регистрация и передача для ввода в ПК технолога. Подготовительный этап охватывает операции по приему, контролю и регистрации входной информации и переносу ее на машинные носители. Основной этап обеспечивает непосредственную обработку информации, возможен расчетный процесс на персональном компьютере. На заключительном этапе осуществляется анализ, контроль, передача результатной информации для преобразования ее через машинный код ЧПУ оборудования в управляющую программу.

Сбор исходной информации включает в себя информацию о назначении тонколистовой оболочковой детали, информацию об

геометрических особенностях поверхности оболочковой детали, получаемой формообразованием обтяжкой листовой заготовки по обтяжному пуансону и требования к полученной оболочковой детали после операции обтяжки. Операция ввода информации в ПК технолога осуществляется путем передачи данных от инженера-конструктора по локальной сети предприятия. На этапе формирования стратегий формообразующей обработки листовой заготовки осуществляются следующие операции: загрузка модели детали обшивки в CAD NX12, анализ поверхности детали обшивки, проектирование твердотельной модели обтяжного пуансона, определение желаемой последовательности шаговых движений растяжно-обтяжного пресса с помощью виртуального прототипа, выполнение вычислений для оптимизации управляющей программы УП. На этапе вывода управляющей программы осуществляется выбор разработанного файла постпроцессора, вывод УП, предварительная проверка листинга УП и по мере необходимости добавление комментариев в УП. Заключительный этап включает в себя следующие действия: сохранение УП на компьютере и флеш-накопителе, передача данных оператору пресса, загрузка УП в ЧПУ пресса. Все это сопровождается визуализацией процесса сбора, передачи, обработки и выдачи информации. Необходимо отметить, что нормальное функционирование АРМ не возможно без грамотно настроенного постпроцессора. Постпроцессирующий файл играет важную роль в работе АРМ на этапе получения управляющей программы.

Согласно структурной схеме АРМ в перечень блоков необходимых для осуществления рабочего процесса входят: технические, программные, математические и информационные ресурсы. На основе функционального подхода была выполнена структурная схема АРМ и выбран режим работы АРМ - индивидуально-сетевой, так как АРМ технолога должно обладать возможностью выхода в интернет и связи с другими АРМ. Основываясь на требованиях к техническому обеспечению АРМ, построена структурная схема комплекса технических средств АРМ технолога, состоящего из высокопроизводительного компьютера для выполнения расчетов и моделирования процессов, монитора, клавиатуры, мышь и многофункционального устройства, совмещающее в себе функции принтера, сканера, копировального аппарата и терминала электронной почты.

Основываясь на функциональных обязанностях технолога, составлен пакет программного обеспечения, включающий клиентское общее: MS Office 2013 и MS Windows10 и специальное программное обеспечение, которое включает программу 3D CAD Компас-3D и программный комплекс CAE QForm. Программа 3D CAD реализована в виде плагина Компас-3D с использованием Компас SDK (КОМПАС-МАСТЕР) для языка C#. Программа получила имя «АвиаФорм». Программный комплекс CAE QForm базовая вычислительная программа для моделирования процессов

формообразования обтяжкой листовой заготовки по обтяжному пуансону, размещенному на столе виртуального растяжно-обтяжного прессы РО-3М.

Графический интерфейс программы создан в программе визуального редактирования интерфейса Glade версии 3.40 с использованием открытой и бесплатной библиотеки элементов управления GTK версии 3. Проверена возможность запуска плагина в операционной системе Linux Ubuntu, без изменения исходного кода, с возможностью в будущем работы в отечественных сборках Linux “Astra” или “Альт” (когда для них появится Компас-3D и Компас SDK, по обещаниям фирмы Аскон - в 2024 году).

1. Подготовка плагина «Авиаформ» для построения условий предполагаемого процесса автоматизированной обтяжки

В конечном итоге такая подготовка сводится к основному набору функциональных свойств и требований, которым плагин должен соответствовать: интеграция с конструкторским интерфейсом; интеграция с системой управления базами данных и адаптация под специфические условия производства. Плагин—это код, который программисты пишут и “подключают” (plug in) для расширения возможностей базовой вычислительной программы. Плагин считается независимо компилируемый модуль, динамически подключаемый к базовой программе, предназначен для расширения и/или использования её возможностей. Плагины обычно выполняются в виде библиотек общего пользования.

Для возможности подключения плагина разработчик основного приложения должен предусмотреть в нем некоторый программный интерфейс, а также хотя бы минимальные возможности по управлению. В этом случае возможности базовой вычислительной программы могут быть расширены сторонними пользователями (технологами). В некоторых приложениях плагины могут настраиваться пользователем дополнительно. Чаще всего плагин, как отдельная часть программы, которую можно установить к базовому программному обеспечению. Это дает возможность добавлять новые функции. Не к каждой базовой программе можно «прикрутить» дополнительный модуль, так как это должно быть заложено в ее настройках. Если скачать плагин без установленного приложения, он не сможет функционировать.

В итоге плагин «АвиаФорм» позволяет управлять виртуальным прессом, генерируя движения рабочих органов и соответствуя реальной кинематике растяжно-обтяжного прессы. Виртуальная 3D-версия растяжно-обтяжного прессы РО-3М создана в отечественной САД-программе Компас-3D версии 20 (будет работать и в новых версиях 21 и выше). Модель прессы РО-3М выполнена в виде параметрической сборки, управляемой через внешние переменные (рисунок 1). Сборка состоит из более 70-ти деталей, включая под сборки, и более 180 сопряжений. Для снижения системных

требований к компьютеру на рабочем месте оператора применялись следующие приемы:

- объединение неподвижных относительно друг друга деталей в одну подборку, с преобразованием в деталь;
- уменьшение числа полигонов в 3D-модели деталей (с сохранением необходимой для кинематики геометрии).

Это позволило воспроизводить плавную анимацию модели в реальном времени на процессоре Intel Sandy Bridge i5-2500 2011 года выпуска. Обтяжные пуансоны выделены отдельными подборками для того, чтобы упростить их программную замену. Движение рабочих органов прессы реализовано через изменение внешних переменных, расчет положений производится с учетом кинематических сопряжений, используя трехмерную числовую систему (кватернионы). Окно плагина состоит из нескольких вкладок, на которых можно задать параметры модели (например, размеры листовой заготовки, начальное положение кареток прессы и блоков растяжения), и редактировать шаги анимации, с возможностью добавлять, удалять шаги, изменять положения рабочих органов на каждом шаге. Анимацию можно воспроизвести в окне Компас-3D.

В любой момент настройки плагина «АвиаФорм» можно сохранить в xml-файлы, и в дальнейшем продолжить работу с моделью, загрузив такой файл. Опции плагина, не относящиеся к модели, сохраняются автоматически - локальный каталог пользователя. Конфигурация прессы считывается при запуске плагина из файла Model.xml, это позволило добавлять другие модели прессов, с небольшими изменениями в коде или даже без таких изменений, например РО-3М и РО 630-11[6].

В конфигурацию входят, например, такие параметры как минимальная и максимальная длина, ширина, толщина листа заготовки, ходы гидроцилиндров, положения кареток, и т.п. Программа работает в два потока (thread). Основной поток содержит главное окно плагина MainWindow и отвечает за интерфейс пользователя, во втором, фоновом потоке (Worker) происходит взаимодействие с Компас-3D через его API. Упрощенная схема работы плагина изображена на рисунке 2. Все вызовы Компас-API происходят синхронно, т.е. вызывающий поток не получает управления, пока вызов не завершится (на диаграмме отмечено красным).

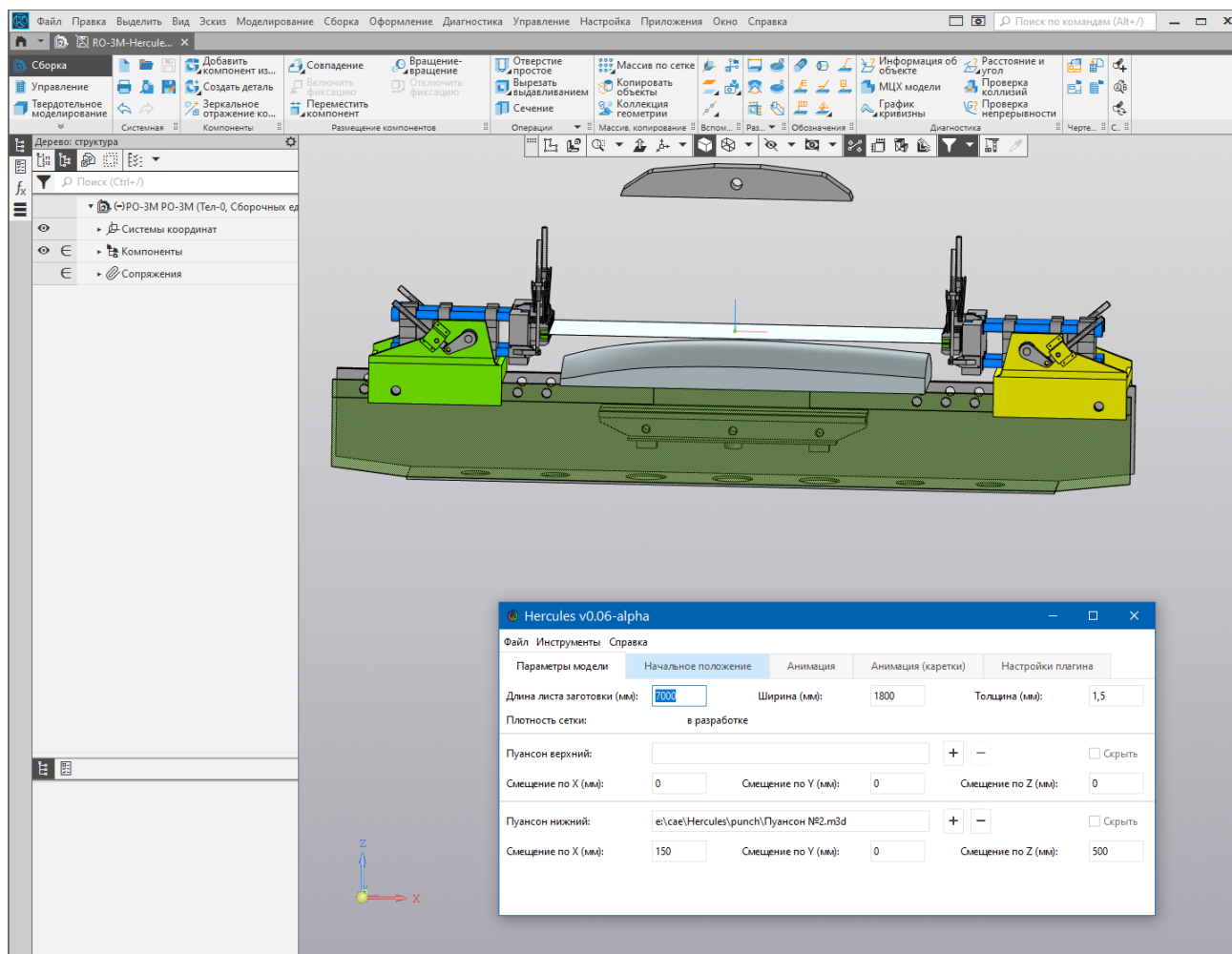


Рисунок 1. Окно Компас-3D с плагином «АвиаФорм»

Таким образом, основной поток остается отзывчивым на действия оператора, даже когда фоновый ждет ответа от Компас-API. Основное окно содержит большое число элементов управления (кнопки, ползунки, поля ввода), и для упрощения работы с ними используется декомпозиция на несколько самостоятельных классов, отвечающих за тот или иной анимационный орган управления (листовая заготовка, каретки, пуансоны, столы). Управление анимацией также вынесено в отдельный класс, содержащий массив шагов анимации.

Оба потока содержат свои копии класса Model, отвечающего за математическую модель параметров пресса. Изменения в основную модель вносятся после ввода данных оператором. Затем модель асинхронно пересылается в фоновый поток, который далее может обращаться к данным в своей, фоновой модели без межпоточных блокировок (рисунок 3). Класс Model в свою очередь содержит подклассы для каждого органа управления пресса. Класс Kinematika отвечает за формулы, по которым производится расчет кинематики.

Полная резервная копия исходных текстов плагина «АвиаФорм» и сборка пресса PO-3M для Компас-3D хранится в отечественном репозитории gitflic.ru по адресу:

<https://gitflic.ru/project/olegbulychov/hercules>

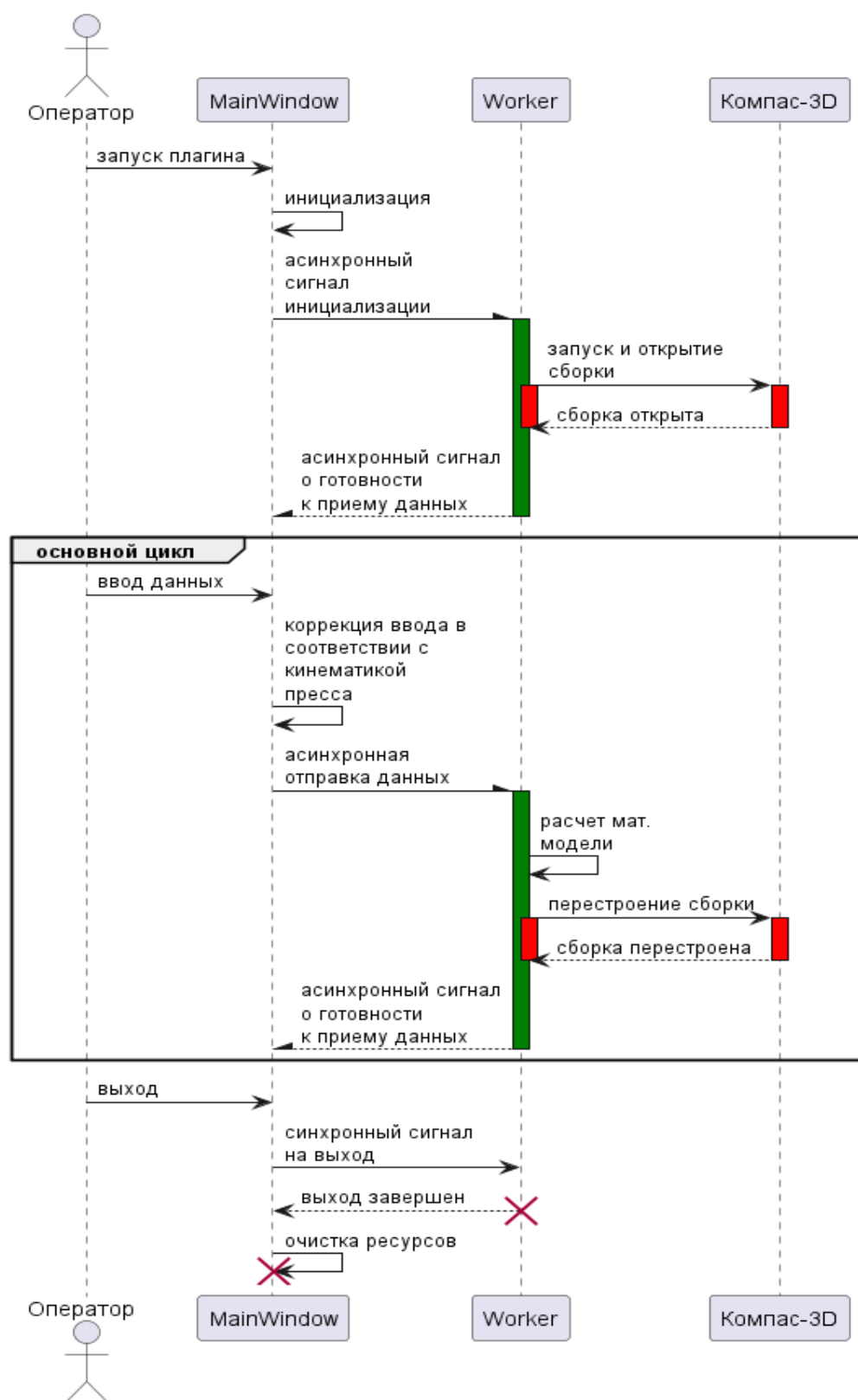


Рисунок 2. Диаграмма последовательности работы плагина «АвиаФорм»

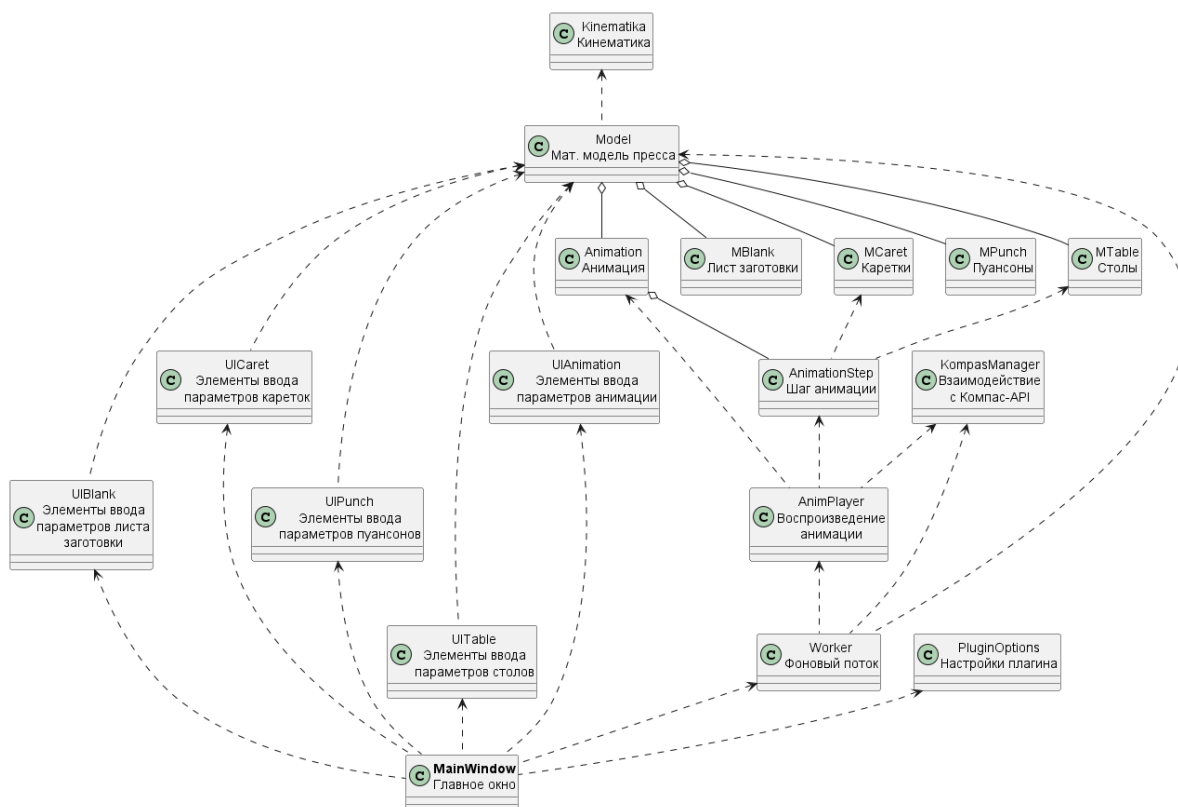


Рисунок 3. Диаграмма основных классов плагина «АвиаФорм»

В центре внимания АРМ-технолога рассматриваются исследования, проводимые методом конечных элементов в программном комплексе CAE QForm при моделировании процессов формообразования обтяжкой листовой заготовки по обтяжному пуансону, размещенному на столе виртуального растяжно-обтяжного прессы РО-3М с помощью программного модуля с интерфейсом пользователя. Программа для управления виртуальным прессом реализована в виде плагина «АвиаФорм». Разработанная 3D модель прессы РО-3М позволила упростить подготовку численных расчетов при моделировании методом конечных элементов в программном комплексе CAE QForm.

Первоначальным этапом в моделировании процесса является подготовка геометрических моделей элементов, участвующих в процессе: листовой заготовки; обтяжного пуансона и зажимов прессы в программном комплексе QForm и подтверждения соответствий результатов моделирования формообразования обтяжкой.

В рассматриваемом контексте нужна верификация – это процесс определения того, что реализация программного модуля и связанные с ним данные точно представляют концептуальное описание и спецификации разработчика автоматизированной системы управления (АСУ) растяжно-обтяжного прессы РО-3М, построенной на базе технических и программных средств, где были использованы современные микропроцессорные средства управления и контроля управляемых координат.

Разработчик построил структуру комплекса технических средств АСУ прессы РО-3М, которая обеспечивает надежность ее элементов и связей

между ними таким образом, чтобы исключить остановки технологического процесса по вине системы, обеспечить высокий уровень автоматизации, исключить потери оперативных и архивных данных, обеспечить максимальное удобство форм представления информации оперативному и технологическому персоналу. Поэтому стадия верификации АСУ строится на сравнении функциональности программного модуля с описанием типового процесса обтяжки в режиме формообразующей операции листового материала на реальном растяжно-обтяжном прессе РО-3М.

Далее согласованное построение реальной кинематики растяжно-обтяжного пресса РО-3М в трехмерной среде позволило получить более точные симуляции процессов формообразования обтяжкой деталей из листового металла. Программа создает трехмерное схематическое представление пресса и конечно-элементную сетку, репрезентирующую формируемый лист. Интерфейс на русском языке позволяет пользователю импортировать листовую заготовку, твердотельную модель обтяжного пуансона, зажимные устройства пресса и управлять рабочими цилиндрами виртуального пресса для настройки различных его кинематических состояний, формируя анимацию процесса, в соответствии с кинематикой реального оборудования. Плагин «АвиаФорм» позволяет управлять виртуальным прессом, генерируя движения рабочих органов соответственно реальной кинематике растяжно-обтяжного пресса РО-3М.

Окно интерфейса организовано и разделено на области, содержащие объекты, необходимые пользователю для выполнения следующих действий:

- 1) запустить новую виртуальную анимацию пресса или открыть ранее сохраненную анимацию;
- 2) определить размеры листовой заготовки для моделирования, а именно: длину, ширину и толщину, а также размеры для конечного элемента сетки;
- 3) импортировать 3D-модель обтяжного пуансона для участия в моделировании, удалить ранее импортированную модель и скорректировать его позиционирование на столе виртуального пресса с помощью вертикальных плоскостей симметрии самого пресса (продольная и поперечная);
- 4) запустить воспроизведение анимации подвижных элементов пресса, добавляя и удаляя кадры, определять кадр для воспроизведения;
- 5) управлять виртуальными цилиндрами пресса;
- 6) сохранить данную анимацию и создать необходимые файлы данных для расчета;
- 7) закрыть окно программы;
- 8) выполнить активацию дополнительных 3D-элементов, чтобы определить положения секционных зажимов листовой заготовки по отношению к обтяжному пуансону.

Компьютерное приложение программного модуля «АвиаФорм» позволяет применить виртуальную кинематику растяжно-обтяжного пресса

РО-3М в режиме моделирования формообразующей операции. В дополнение к этому, программный интерфейс АРМ технолога включает управление и позиционирование каждым рабочим органом согласно выбранному алгоритму способа. Цикловая корректировка параметров управляемых координат выполняется по результатам моделирования для конкретного процесса формообразования обтяжкой, используя оптимизацию заранее рассчитанных конечно-элементных моделей.

Все введенные в плагин данные, включая управление и позиционирование каждым рабочим органом виртуального растяжно-обтяжного пресса, путь к файлу обтяжного пуансона, размеры заготовки и другие параметры каждого шага движения можно сохранить в формате xml. Реализовано чтение таких файлов, с возможностью продолжить работу над анимацией с любого шага. Так же реализован экспорт матрицы цикловой диаграммы в csv-файл для передачи в контроллер пресса. В таблице 1 показаны обозначения и названия шаговых движений растяжно-обтяжного пресса РО-3М с обоснованием нулевых позиций на кончиках левого и правого датчика. При запуске система загружает необходимые структуры и переменные, собирает виртуальный пресс и создает интерфейс, предоставляя другие функции, которые активируются в соответствии с запросами пользователя.

Таблица 1

Обозначения и названия шаговых движения растяжно-обтяжного пресса РО-3М величин с обоснованием нулевых позиций (нуля)

Обозначение	Название	Единица измерения	Обоснование нуля
leftPlace	Позиция левой каретки (1..7)	-	0 крайняя левая
rightPlace	Позиция правой каретки (1..7)	—	0 – крайняя правая
BL3	Положение левого блока растяжения	мм	0 – в сведенном положении к центру стола (плунжер задвинут)
BL5	Положение цилиндра наклона зажимной плиты левой каретки	мм	0 - наклон в горизонте (цилиндр задвинут)
BL7	Положение рычага переднего радиуса зажима левой каретки	мм	0 - зажимы установлены прямолинейно (цилиндр выдвинут)
BL8	Положение рычага заднего радиуса зажима левой каретки	мм	0 - зажимы установлены прямолинейно (цилиндр выдвинут)

BL4	Положение правого блока растяжения	мм	0 – в сведенном положении к центру стола (плунжер задвинут)
BL6	Положение цилиндра наклона зажимной плиты правой каретки	мм	0 - наклон в горизонте (цилиндр задвинут)
BL9	Положение рычага переднего радиуса зажима правой каретки	мм	0 - зажимы установлены прямолинейно (цилиндр выдвинут)
BL10	Положение рычага заднего радиуса зажима правой каретки	мм	0 - зажимы установлены прямолинейно (цилиндр выдвинут)
BL11	Положение левого цилиндра нижнего стола	мм	0 - нижнее положение левого цилиндра стола (цилиндр втянут)
BL13	Положение правого цилиндра нижнего стола	мм	0 – нижнее положение правого стола (цилиндр втянут)
BL14	Положение левого цилиндра верхнего стола	мм	0 - верхнее положение левого цилиндра стола (цилиндр втянут)
BL15	Положение правого цилиндра верхнего стола	мм	0 – верхнее положение правого цилиндра стола (цилиндр втянут)

Поэтому верификационная отработка на растяжно-обтяжном прессе РО-3М организована на основе сравнительного анализа автоматической работы реального растяжно-обтяжного прессы РО-3М в режиме формообразующей операции листового материала по управляющей программе, сформированной в той же последовательности шаговых движений, так называемый профиль обтяжки, с помощью программного модуля «АвиаФорм». Результаты сравнительного анализа приведены в таблице 2.

Представленные результаты подтверждают соответствие АСУ растяжно-обтяжного прессы РО-3М целям управления, что процесс формообразования обтяжкой совершается в соответствии с алгоритмом и представляет собой последовательность операций, выполняемых механизмами прессы при наличии в зажимах листовой заготовки в автоматическом режиме. Анализ значений деформаций в выбранных нами точках на поверхности листовой заготовки после формирования профиля обтяжки соответствует результату моделирования способа,

обеспечивающего более равномерное распределение деформаций листовой заготовки без появления волнистости и складок.

Таблица 2

Результаты сравнительного анализа АСУ и типового ручного процесса обтяжки в режиме формообразующей операции листового материала на реальном растяжно-обтяжном прессе РО-3М*

Функция (опция)	Типовой ручной процесс	АСУ растяжно-обтяжного пресса	Новые возможности
Наличие графического интерфейса пользователя	0	2	Разработана процедура составления шаговых движений рабочих органов пресса для конкретного процесса формообразования обтяжкой.
Фиксирование угла поворота зажимной плиты на каждом шаге программы	1	2	Стабилизация заданного продольного угла схода заготовки с пуансона слева и справа в зависимости от перемещения растяжного цилиндра.
Обеспечение синхронной работы левого и правого растяжных цилиндров	1	2	Выполнена синхронная работа растяжных цилиндров с помощью гидросистемы с машинно-дрессельным регулированием.
Положение нижнего стола на конечниках левого и правого датчика	0	2	Установлены ненулевые положения нижнего стола на конечниках левого и правого датчика.
Обеспечение горизонтального положения левого и правого ряда зажимов на зажимной плите	1	1	Установлено программное значение для горизонтального положения левого и правого ряда зажимов на зажимной плите.
Выполнение поворота зажимов на зажимной плите при наличии в них	1	1	Поворот зажимов на зажимной плите при наличии в них листовой

листовой заготовки.			заготовки можно выполнить только после ее разгрузки, и этот шаг включен отдельно в последовательность шаговых движений пресса.
Анализ значений деформаций в выбранных нами точках на поверхности листовой заготовки после формирования профиля обтяжки.	2	2	Результат ручного замера деформации в выбранных нами точках на поверхности листовой заготовки соответствует результату моделирования способа, обеспечивающего более равномерное распределение деформаций листовой заготовки.
Сумма баллов	6	12	

*Оценка показателей сравнения проводилась по двухбалльной шкале:

- 0 – несоответствие или отсутствие;
- 1 – частичное соответствие требованиям;
- 2 – полное соответствие требованиям.

Основным источником получения информации о последовательности шаговых движений с помощью программного модуля является измерение параметров управления, т.е. визуализация протекания процесса формообразования обтяжкой с отображением датчиков положения механизмов и усилий рабочих гидроцилиндров на АРМ оператора. Кроме того, нужно обеспечить сбор и обработку информации с контрольно-измерительных приборов в реальном времени, генерирование управляющих электрических сигналов и обеспечения управления всеми устройствами пресса, реализации необходимых блокировок для обеспечения безопасной работы, обработки и архивации контролируемых параметров в реальном времени.

Приведенные функции АСУ растяжно-обтяжного пресса РО-3М имеют отражение в установленных опциях компьютерного приложения системы управления, которое разработано для виртуального отображения реального растяжно-обтяжного пресса с учетом его кинематических особенностей. В центре внимания рассматриваются исследования, проводимые моделированием методом конечных элементов процессов формообразования обтяжкой листовой заготовки по обтяжному пуансону, размещенного на столе виртуального растяжно-обтяжного пресса и

формирование матрицы управляемых координат на интерфейсе АРМ оператора для перевода в машинный код контроллера (рисунок 4).



Рисунок 4. Матрица управляемых координат на интерфейсе АРМ оператора растяжно-обтяжного прессы РО-3М

2. Калибровочная наладка растяжно-обтяжного прессы РО-3М для процесса автоматизированной обтяжки

Разработчик автоматизированной системы управления (АСУ) растяжно-обтяжного прессы РО-3М подготовил таблицу, последний вариант на момент замеров нижнего стола от нижнего конечника до верхнего конечника. Выполнены замеры положения цилиндров верхнего стола. Движение прессы было обновлено и адаптировано с учетом минимального и максимального значений рабочих цилиндров от одного конечника до другого конечника. Это касается положений рабочих органов растяжно-обтяжного прессы РО-3М при наличии обоснованного нуля их положений и измеряемые величины по датчику. Скорректировали ноль стола, вверх на 5 мм. Скорректировали расстояние внутри губок, на 5 мм ближе к центру стола (по 2.5 мм добавили к левым и правым цилиндрам). Выяснили, что центр нижнего стола находится правее, чем в модели. Решили обтяжной пуансон чуть подвинуть вправо на 17 мм. Модель обтяжного пуансона, принимающая основное участие в калибровочной наладке прессы, приведена на рисунке 5.

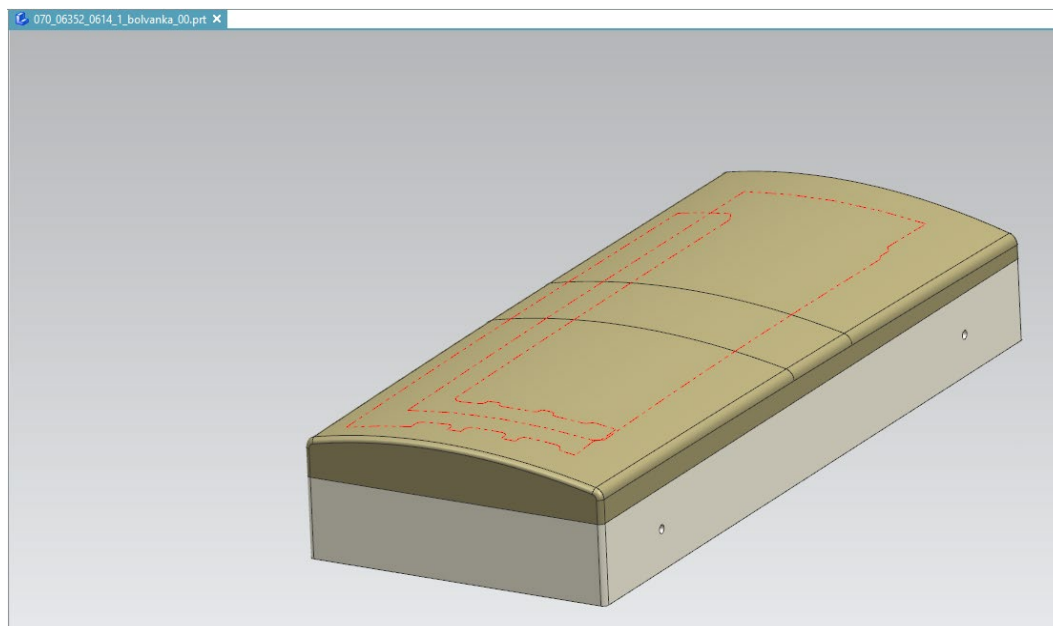


Рисунок 5. Модель обтяжного пуансона

Позиционирование обтяжного пуансона в плагине «Авиаформ» выполняет технолог. Используя ПО плагина «Авиаформ» открывается диалоговое окно выбора модели обтяжного пуансона в нужном формате: STEP, IGES или M3D. После выбора соответствующей опции обтяжной пуансон устанавливается в виртуальной модели прессы, благодаря смещениям по осям X , Y , Z . Начало координат O и оси X и Y лежат в плоскости листовой заготовки, установленной в зажимах прессы, а ось Z направлена вверх. Направление вертикали от центра нижнего стола прессы совпадает с осью Z , ось X направлена от левой каретки к правой каретке, ось Y от ближних зажимов к дальним зажимам (рисунок 6).

Программное обеспечение плагина «Авиаформ» предназначено для работы с виртуальной моделью прессы РО-3М. ПО плагина «Авиаформ» позволяет визуально настраивать движения, выполняемые рабочими органами прессы с помощью графического интерфейса, добавлять и менять модели пуансонов, изменять параметры листовой заготовки, а так же выгружать данные в систему QForm для расчета процесса формообразования оболочковой детали методом конечных элементов.

Модель обтяжного пуансона загружается так, чтобы ось Z была направлена вверх от центра верхней плоскости нижнего стола прессы через вершину рабочей поверхности обтяжного пуансона, днище которого параллельно плоскости стола прессы, т.е. плоскости XOY , а длинные боковины обтяжного пуансона ориентированы вдоль продольной кромки стола прессы, т.е. вдоль оси X .



Рисунок 6. Начальное положение обтяжного пуансона и листовой заготовки

В диалоговом окне выбора модели пуансона можно открыть и скрыть обтяжной пуансон, выбрав соответствующую опцию. Для обтяжного пуансона задаются смещения по осям X , Y и Z . Если смещения X и Y оставить нулевыми, а по оси Z задавать высоту подставки между столом прессы и обтяжным пуансоном, то обеспечиваем касание вершины поверхности обтяжного пуансона в точке O горизонтально расположенной в зажимах прессы листовой заготовки.

Высоту специальной подставки можно будет задать и в интерфейсе после установки модели обтяжного пуансона в положение касания вершины обтяжного пуансона в точке O . Модели специальных подставок в закладках ПО плагина «Авиаформ» не загружены. На предприятии отсутствуют модели специальных подставок. Нет системы их унификации в качестве вспомогательных элементов для установки конкретного обтяжного пуансона.

Калибровочная наладка растяжно-обтяжного прессы РО-3М была выполнена при различном положении блока растяжения, обеспечивающего перемещения рабочих цилиндров растяжения левого и правого на величину, равную 100 мм (рисунок 7).

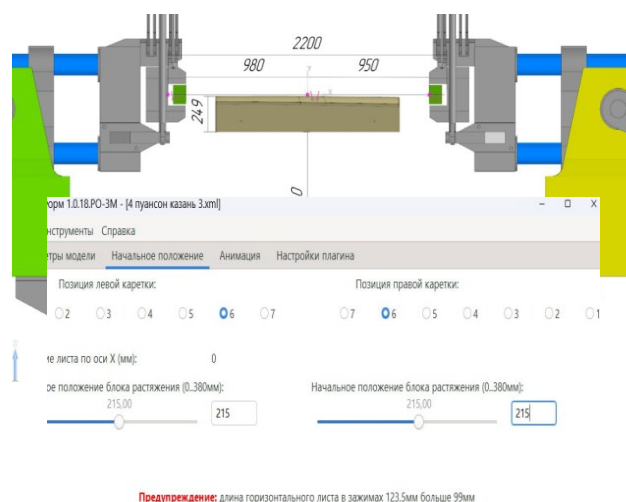


Рисунок 7. Калибровочная наладка растяжно-обтяжного пресса РО-3М при фиксированном положении левого и правого блока растяжения в позиции (6) (215 мм), обеспечивающего перемещения рабочих цилиндров растяжения левого и правого на величину, равную 100 мм

Калибровочная наладка растяжно-обтяжного пресса РО-3М в значительной степени зависит от подставки, после установки, которой на стол пресса, обтяжной пуансон будет находиться в положении касания вершиной листовой заготовки в точке O . Вынуждены вносить корректировку в калибровочную наладку, связанную с разницей высот подставки в плагине «Авиаформ» перед моделированием в системе QForm. Однако при наличии макета подставки можно «просто» заложить в закладки ПО плагина «Авиаформ» и убедиться в том, что он имеется на производственном участке, показать его на виртуальном прессе.

Предустановленные алгоритмы шаговых движений пресса РО-3М в ПО плагина «Авиаформ» отсутствуют. Нужен не алгоритм, а перечень шаговых движений пресса в определенной последовательности для конкретной оболочковой детали. Технолог должен самостоятельно составить такой перечень шаговых движений пресса с помощью графического интерфейса, используя закладки ПО плагина «Авиаформ» (рисунок 8 и 9).

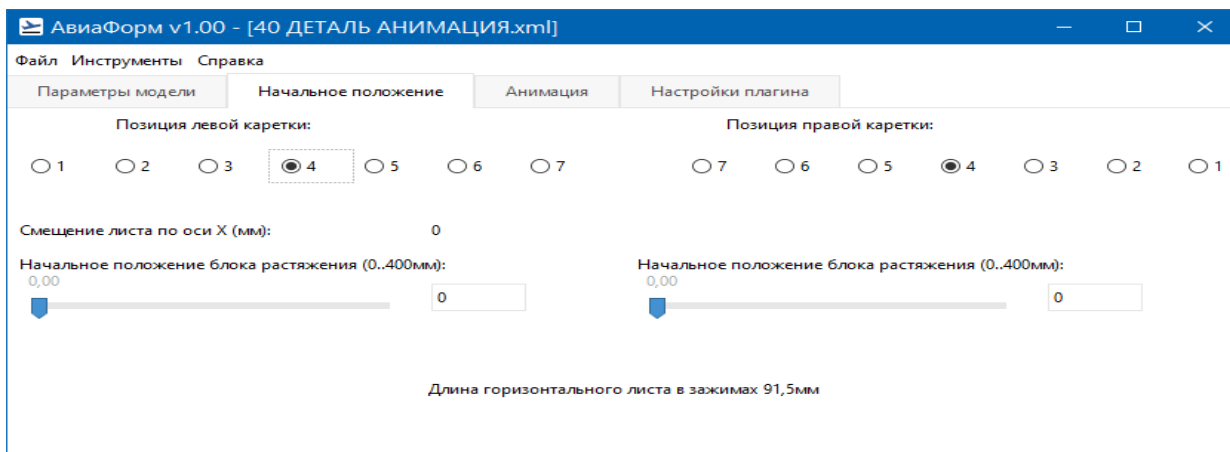


Рисунок 8. Закладка – начальное положение

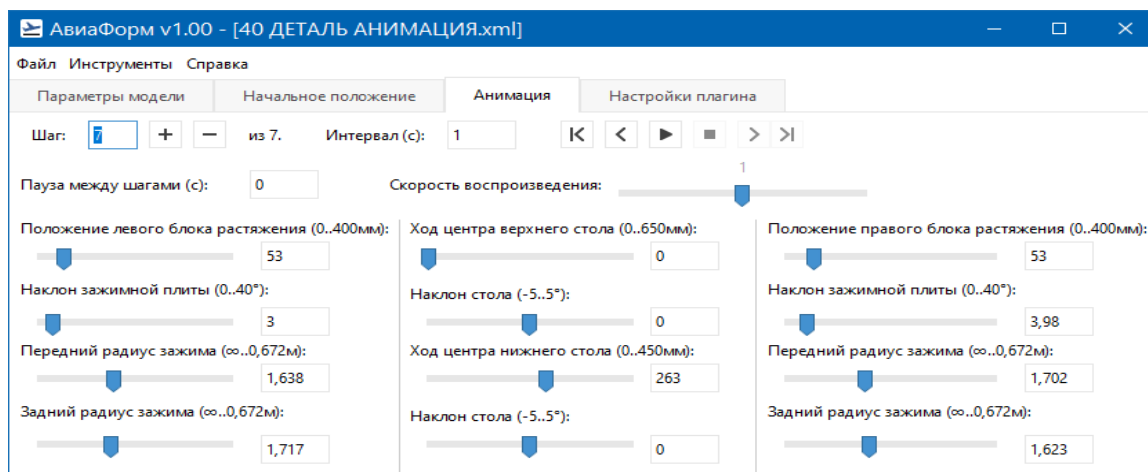


Рисунок 9. Закладка – анимация

На закладке - анимация расположены элементы управления шаговыми движениями и элементы управления органами пресса на текущем шаге анимации. Текущий шаг анимации отображается в поле «Шаг». Поле «Интервал» задает интервал времени для выполнения текущего шага анимации. Действительно данный перечень шаговых движений легко корректируется и автоматически передается через API из плагина «АвиаФорм» в систему QForm для конечно-элементного моделирования.

3. Организация оптимальной последовательности шаговых движений пресса с помощью плагина «Авиаформ»

С целью повышения эффективности расчетов при передаче из плагина «Авиаформ» в систему QForm загружается только листовая заготовка, обтяжной пуансон и зажимы пресса РО-3М. Для повышения стабильности работы плагина «АвиаФорм», алгоритмы работы с сеткой были вынесены в отдельный процесс (k_motor.exe), который выступает в роли backend, и вызывается из плагина (выступающего в роли frontend) с требуемым набором параметров. Результаты работы мешера отображаются в отдельном окне плагина.

Операционная кинематика гидроцилиндров и других подвижных элементов пресса РО-3М соответствует информации, характеризующей возможные их движения, которые выполняются. Положения осей и шарниров, которые позиционируют такие движения с необходимой точностью для его записи в режиме настройки их значений. Такие данные используются в интерфейсе с помощью которого пользователь устанавливает положения рабочих цилиндров виртуального пресса в режиме настройки их значений.

Интерфейс также выстраивает исходные позиции рабочих цилиндров пресса, вызывая при этом анимацию циклового движения пресса. Она представляет собой шаговый набор кинематических движения рабочих цилиндров пресса с течение обозначенного рабочего цикла в форме команд системы управления. Плагин позволяет произвести моделирования процесса обтяжки в виде интуитивного написания режима работы пресса РО-3М. Шаговые движения в форме команд для виртуального пресса

соответствуют знанию того, как выполнять определенные действия в приложении.

Например, откройте или сохраните файл, создайте трехмерную геометрию для использования в моделировании, создайте графики для визуализации результатов и т.д. Требуются обширные знания этих команд и принципы их работы, которые используются при разработке виртуальной системы управления, а также знания функции автоматического анализа. Объекты интерфейса соответствуют визуальным ресурсам, с помощью которых взаимодействие между виртуальной системой управления и пользователем может быть налажено более простым способом, например: это поля для заполнения числовых или текстовых значений и т.д. Такие функции используются для создания собственного интерфейса системы.

Стандартный компонент записи данных соответствует структуре хранения данных в виде файла, чтобы содержащаяся в них информация правильно интерпретировалась компьютером. При открытии одного из файлов в обычной программе текстового редактора, такой как системный блокнот Windows, быстро обнаруживается, что данные располагаются в соответствии с интервалами и с использованием специально определенных символов для обозначения начала строк данных или командных блоков. Знание такой структуры данных необходимо и это помогает виртуальной системе при экспорте данных на ПК. Компоненты настроек ПК соответствует необходимым данным, которые должны быть предоставлены самой программе, чтобы она могла успешно выполнять требуемые симуляции без ошибок. Задача моделирования чрезвычайно сложна, и подготовка файлов для отправки на расчет требует опыта и внимательности пользователя.

Для создания сценариев автоматизации доступны два метода. Первый – это воспроизведение определенной последовательности команд, которую пользователь организует каждый раз из набора команд, написанных для виртуальной системы управления в специально разработанном для этого поле. То есть при обычном использовании и выполнении заданной команды это приложение определяет порядок и записывает соответствующую командную строку. Данная процедура повторяется виртуальной системой управления для каждой команды, выполняемой пользователем. Таким образом, пользователь может копировать эти строки и свободно организовывать их для создания желаемой последовательности, которая может быть повторно вставлена в интерфейс как блок команд, повторяемых автоматически.

Собрав все описанные компоненты и соответствующие необходимые сценарии, была создана виртуальная система пресса, включая специально разработанный интерфейс. Внутри система разделена на модули в соответствии с сценарием, связанными с самим программированием, и отражением различных выполняемых задач, а именно: кинематика, функции анимации, функции записи в формате xml- файла, объектные функции,

геометрия, глобальные переменные, интерфейс, моделирование, конструкции. При запуске система загружает необходимые структуры и переменные, собирает виртуальный пресс и создает интерфейс, предоставляя другие функции, которые активируются в соответствии с запросами пользователя.

Реализовано чтение таких файлов, с возможностью продолжить работу над анимацией с любого шага. Так же реализован экспорт матрицы цикловой диаграммы в csv-файл для передачи в контроллер ЧПУ прессы. Процесс формообразования обтяжкой совершается в соответствии с алгоритмом моделирования и представляет собой последовательность операций, выполняемых рабочими органами растяжно-обтяжного прессы РО-3М согласно шаговым движениям цикловой диаграммы. Практически это переходы между состояниями технологического оборудования. Основным источником получения информации о состоянии технологического оборудования является измерение параметров управления.

Компьютерное приложение системы управления состоит из упрощенной трехмерной модели оборудования и графического интерфейса пользователя, разработанного для управления кинематическими движениями, выполняемыми рабочими органами прессы, что позволяет точно моделировать его реальную кинематику. В дополнение к этому, интерфейс включает управление и позиционирование каждым рабочим органом виртуального прессы. В результате можно будет настроить анимацию движений рабочих органов для конкретного процесса формообразования обтяжкой.

4. Результаты моделирования процесса формообразования обтяжкой листовой заготовки

Первоначальным этапом в моделировании процесса является подготовка геометрических моделей элементов, участвующих в процессе моделирования: листовая заготовка; обтяжной пуансон, оболочковая деталь и зажимы прессы в программном комплексе QForm. Были переданы макеты только двух обтяжных пуансонов, которые были выделены в отдельные сборки для упрощения их программной замены. Однако доработка поверхности обтяжных пуансонов с помощью программного пакета CAD NX 12 с учётом метрики самой поверхности, требований к положению рабочей поверхности не потребовалась. Заказчик предпочитал провести верификационную отработку на растяжно-обтяжном прессе РО-3М, не изменяя положения рабочей поверхности обтяжного пуансона.

Кроме того, данные «болванки» не имели отношения к обводообразующим оболочковым деталям обшивок самолета. Вынуждены пойти навстречу для подтверждения факта, что АРМ технолога является основным инструментом общения технолога с вычислительными системами, на которых специалист выполняет операции, требующие творческого подхода при решении текущих задач и анализа функций

управления. С этой целью и был выбран один обтяжной пуансон, показанный на рисунке 4, который даже в форме «болванки» напоминал естественную оболочковую деталь, не потребовавшая уточнения геометрической формы 3D поверхности пуансона путем «припасовывания» её к геометрии 3D модели поверхности прототипа детали, полученной от конструктора. Это нарушало уже освоенную и предложенную практику получения формы рабочей поверхности обтяжного пуансона, которая предполагает предварительное определение требуемой геометрии поверхности конкретной детали обшивки для формообразующей операции методом обтяжки.

Механические свойства листового материала из алюминиевого сплава АК4-1 толщиной 3 мм не были предоставлены заказчиком. При подготовке к верификационной отработке на растяжно-обтяжном прессе РО-3М пользовались справочными данными отраслевого института ВИАМ. Однако после выполнения верификационной отработки предоставили нам два «куска» данного листового материала. В нашей университетской лаборатории выполнили испытания двух групп нестандартных образцов для механических испытаний на растяжной машине после выполнения термической обработки: закалка: температура нагрева 535 градусов 20 минут с охлаждением в воду и отжиг: температура нагрева 535 20 минут и последующее охлаждение с печью. Основные свойства и механические свойства листового материала из алюминиевого сплава АК4-1 толщиной 3 мм помещены в закладки системы QForm для конечно-элементного моделирования (рисунок 10 и 11) с последующим сохранением этих данных для повторного моделирования.

Важным этапом в производстве листовых оболочковых деталей обшивок самолетов является разработка диаграмм предельного формования (FLD), которые состоят из кривых пределов формования. Кривые пределов формования представляют собой эмпирические отношения между критическими (или ограничивающими) деформациями в плоскости, которые описывают пределы деформируемости листового материала. Они разделяют комбинации основных и второстепенных деформаций, которые являются «безопасными», то есть для которых не ожидается отказа от данной комбинации деформаций в FLD. Форма и расположение кривой предельных деформаций уникальна для каждого материала (рисунок 12).

Основные свойства

☒ Сопротивление деформации
 Табличная функция [Редактировать](#)

Условие пластичности
[Редактировать](#)

☒ Плотность
 Постоянная величина 2800 кг/м³

☐ Теплопроводность
 Постоянная величина Вт/мК

☐ Теплоемкость
 Постоянная величина Дж/кгК

☒ Модуль Юнга
 Постоянная величина 72000 МПа

☒ Козф. Пуассона
 Постоянная величина 0.33

Рисунок 10. Закладка – основные свойства листового материала из алюминиевого сплава АК4-1 толщиной 3 мм системы QForm для конечно-элементного моделирования

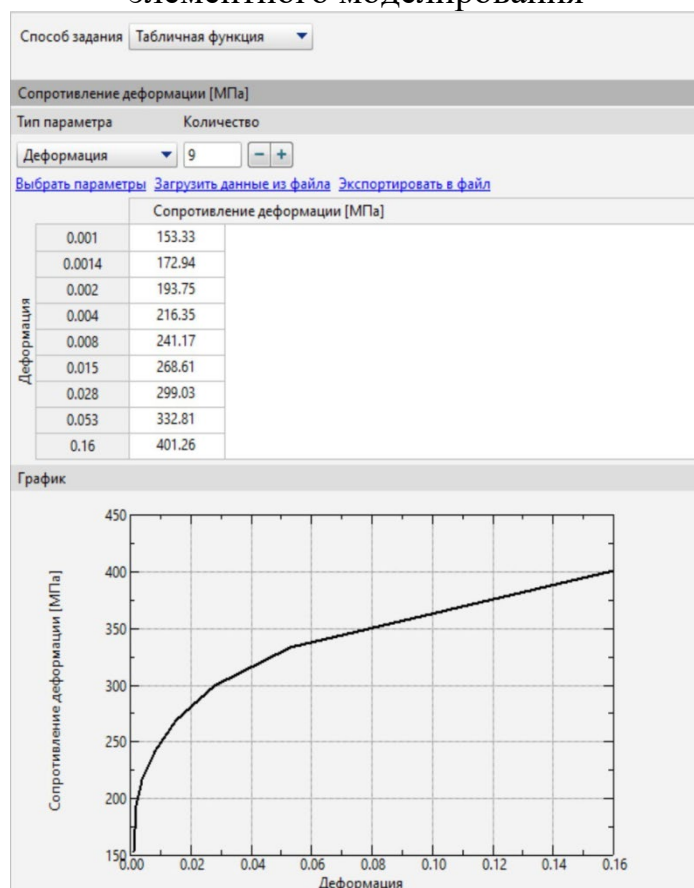


Рисунок 11. Закладка – отображение данных кривой упрочнения листового материала из алюминиевого сплава АК4-1 толщиной 3 мм системы QForm для конечно-элементного моделирования

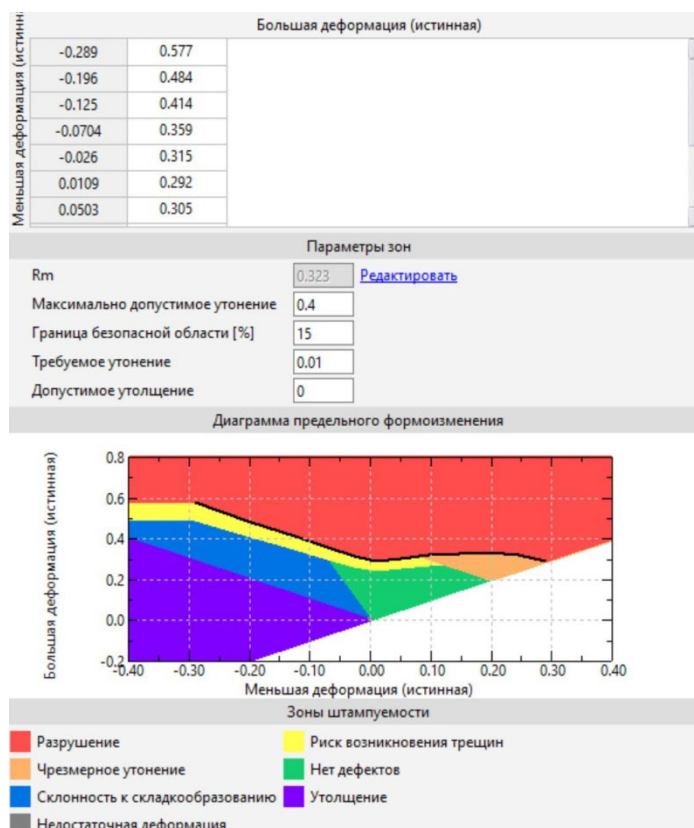


Рисунок 12. Диаграмма предельного формоизменения для алюминиевого сплава АК4-1 толщиной 3 мм

Далее было выполнено согласованное моделирование реальной кинематики растяжно-обтяжного прессы РО-3М в трехмерной среде, которое позволило получить более точные симуляции процессов формообразования деталей из листового металла согласно алгоритму моделирования процесса формообразования обтяжкой оболочек двойной кривизны. За основу взяли порядок ведения процесса формообразования согласно способу формообразования обтяжкой деталей оболочек незначительной двойной кривизны с помощью разработанного компьютерного приложения системы управления для виртуального отображения реального растяжно-обтяжного прессы типа РО [7].

Диаграмма шаговых движений основных и вспомогательных рабочих цилиндров была получена в компьютерном приложении системы управления кинематикой виртуального растяжно-обтяжного прессы РО-3М с помощью графического интерфейса пользователя и реализован экспорт матрицы цикловой диаграммы в формате xml- файла в программный комплекс QForm. Окончательная матрица определенной последовательности команд согласно шаговым движениям была получена основе предоставленных данных для нахождения соответствия шаговых движений матрицы цикловой диаграммы после экспорт в csv-файле в контроллер прессы для рассматриваемой оболочковой детали. Результаты получились обнадеживающимися и требуют упорядочения предоставленных данных и развитие таких исследований.

В таблице №3 пока приведена матрица определенной последовательности шаговых движений пресса, которую наш пользователь организовал каждый раз из набора, написанных для виртуальной системы управления, и была направлена в формате csv-файла в контроллер пресса для верификационной отработки.

Таблица 3

Матрица определенной последовательности шаговых движений пресса, была направлена в формате csv-файла в контроллер пресса для верификационной отработки

№ шага	Расстояние									
	Положение левого блока растяжения BL3, мм	Положение правого блока растяжения BL4, мм	Положение цилиндра наклона левой зажимной плиты BL5, мм	Положение цилиндра наклона правой зажимной плиты BL6, мм	Положение рычага переднего радиуса зажима в правой каретки BL9, м	Положение рычага заднего радиуса зажимов правой каретки BL10, м	Положение рычага переднего радиуса зажимов левой каретки BL7, м	Положение рычага заднего радиуса зажимов левой каретки BL8, м	Положение цилиндра нижнего стола BL11, мм	Положение цилиндра нижнего стола BL13, мм
0	235	235	0	0	0	0	0	0	170	170
1	235	235	0	0	0	0	0	0	258	225
2	235	235	0	0	1,8	1,3	1,4	2,5	258	225
3	235	235	0	0	1,8	1,3	1,4	2,5	278	240
4	273	273	0	0	1,8	1,3	1,4	2,5	278	240
5	266	266	0	0	1,8	1,3	1,4	2,5	278	240

Каждая строчка диаграммы на таблице 3 соответствует определенному кинематическому состоянию растяжно-обтяжного пресса РО-3М. Если первое кинематическое состояние пресса исходное, имеющее условное время TIME=0, то всего определено пять шаговых движений основных и вспомогательных гидроцилиндров пресса. Последующие обозначения в строчках диаграммы соответствуют трехмерной виртуальной модели растяжно-обтяжного пресса РО-3М, а обозначения рабочих органов пресса и обоснование «нуля» приведены в таблице 1, и имеют отношение к обозначениям интерфейса АРМ оператора растяжно-обтяжного пресса РО-3М на рисунке 3.

Вернемся к матрице шаговых движений основных и вспомогательных рабочих цилиндров растяжно-обтяжного пресса РО-3М, показанной в таблице 3. Матрица получена за счет ручной корректировки значений управляемых координат на графическом интерфейсе управления виртуального пресса. Ручная корректировка выполнялась по результатам анализа значений деформаций, толщин на поверхности листовой заготовки при фиксировании наименьшей и наибольшей деформации, которые, чаще всего, проявляются вблизи зажимов пресса.

Аналогично предыдущему случаю в процессе моделирования под управлением кинематикой виртуального растяжно-обтяжного пресса РО-3М визуально поддерживался контакт поверхности обтяжного пуансона с

листовой заготовки в угловых зонах. Визуализация деформации заготовки имеет отражение в постпроцессорной обработке результатов расчета системы QForm, включая режимы обзора качественной палитры очага пластической деформации, зон контакта листа с поверхностью обтяжного пуансона и фонового распределения толщины, причем с включенной сеткой.

Сопоставим режимы обзора качественной палитры очага пластической деформации при формообразовании обтяжкой оболочковой детали только в закаленном состоянии на каждом этапе в системе QForm согласно шаговым перемещениям пресса, заложенным в ПО плагина «Авиаформ» (рисунок 13 – рисунок 17). Подробности проведения процедуры расчетов были приведены в переданных материалах обучения технологов. Покажем качественные «картинки» развития очага пластической деформации оболочковой детали и комментарии к ним на всех этапах формообразования на одном и том же обтяжном пуансоне, оставляя листовую заготовку в секционных зажимах.

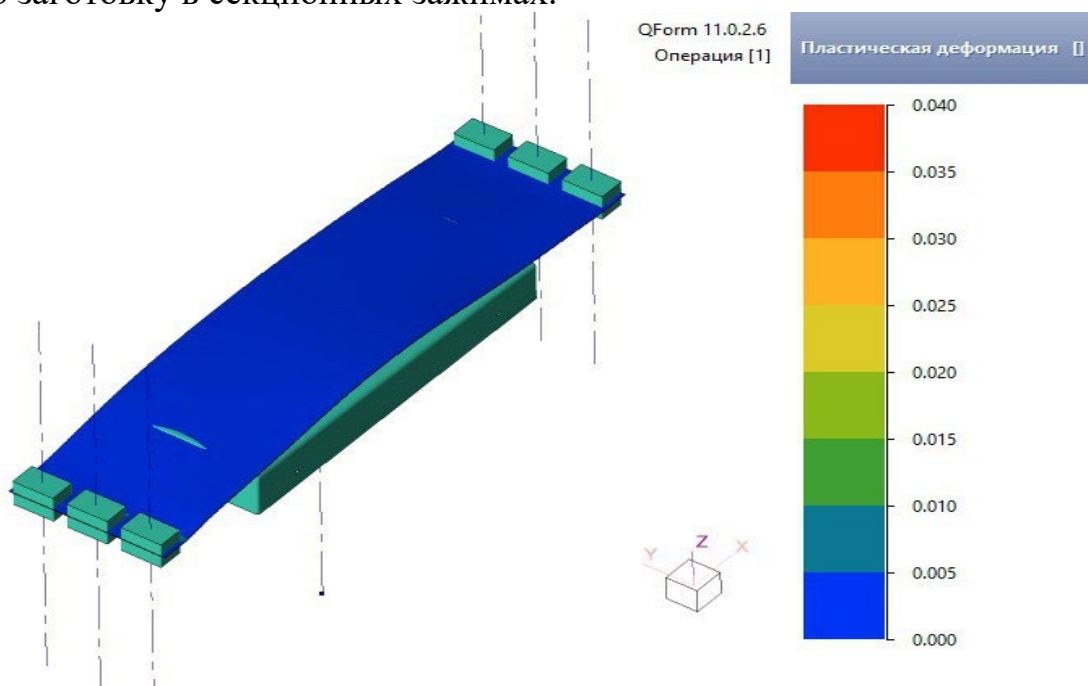


Рисунок 13. Контакт плоской листовой заготовки с прямолинейно выставленными зажимами пресса с поверхностью обтяжного пуансона (1 этап). Замечен легкий перегиб листа на одном из торцевых краях обтяжного пуансона

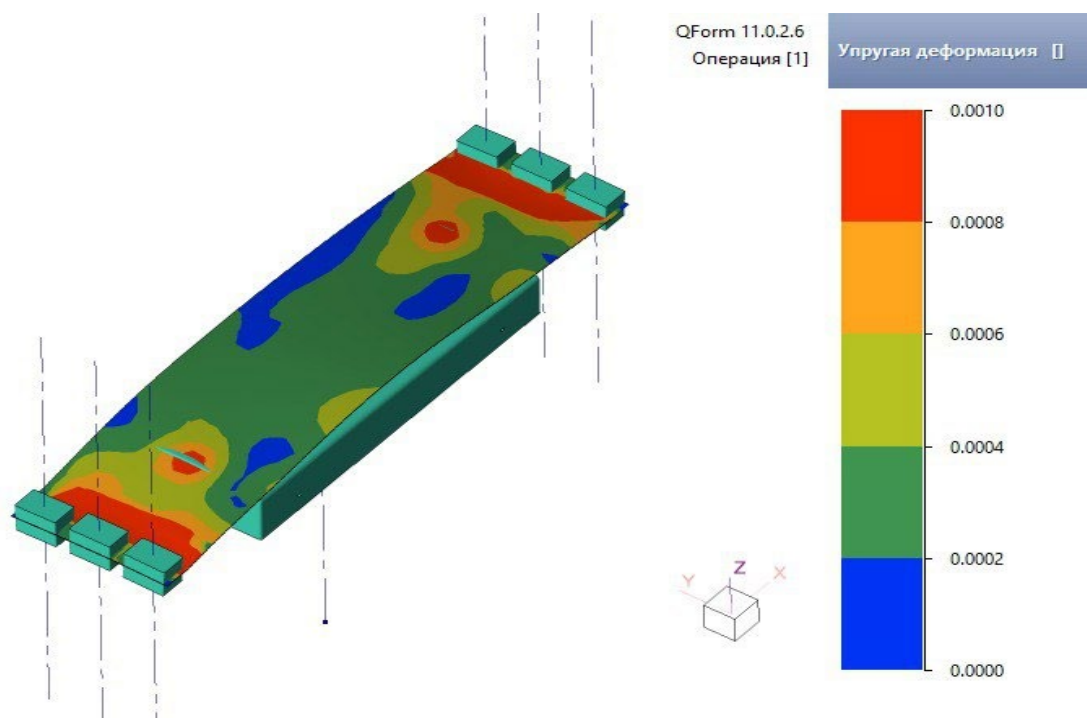


Рисунок 14. Оборачивание плоской листовой заготовки прямолинейно выставленными зажимами пресса (2 этап) поверхности обтяжного пуансона за счет подъема стола. Проявляется деформация вблизи зажимной губки пресса (деформация порядка 0,1%) Геометрия поверхности не проявляется, т.к. отсутствует классический тип обводобразующей поверхности самолета

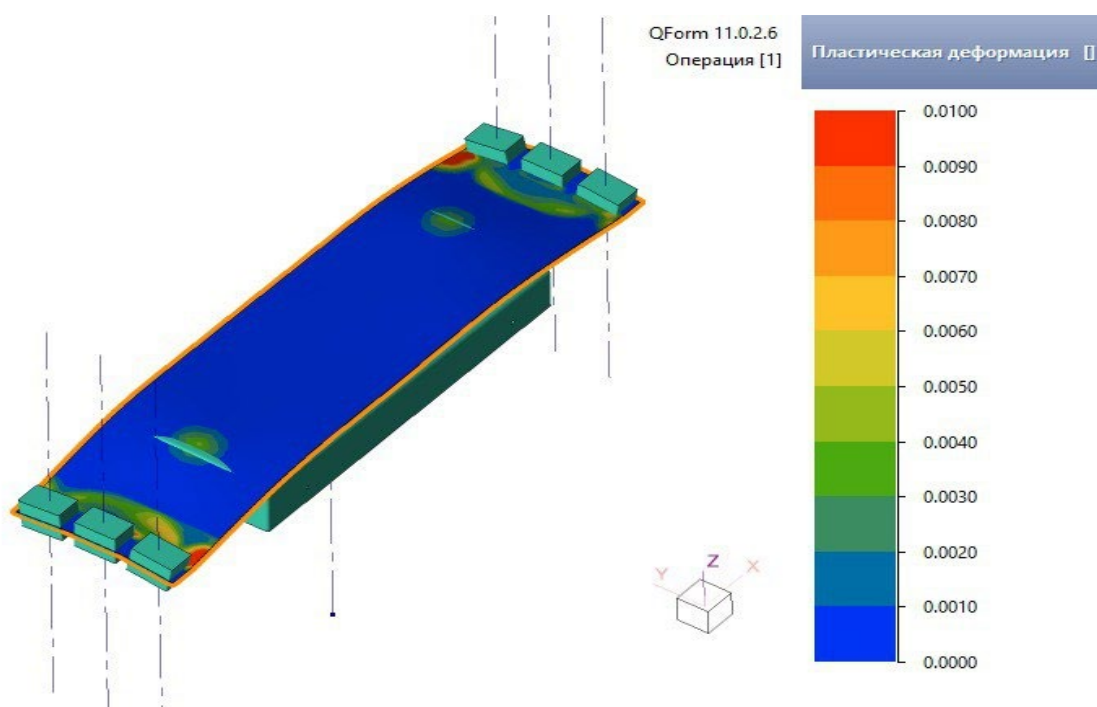


Рисунок 15. Установка левых и правых секционных зажимов пресса по соответствующим контурам (3 этап). Деформационный «фон» остался без изменений. В районе крайних зажимов имеются локальные флуктуации деформаций на фоне разгрузки и изгибной деформации порядка 1,0%

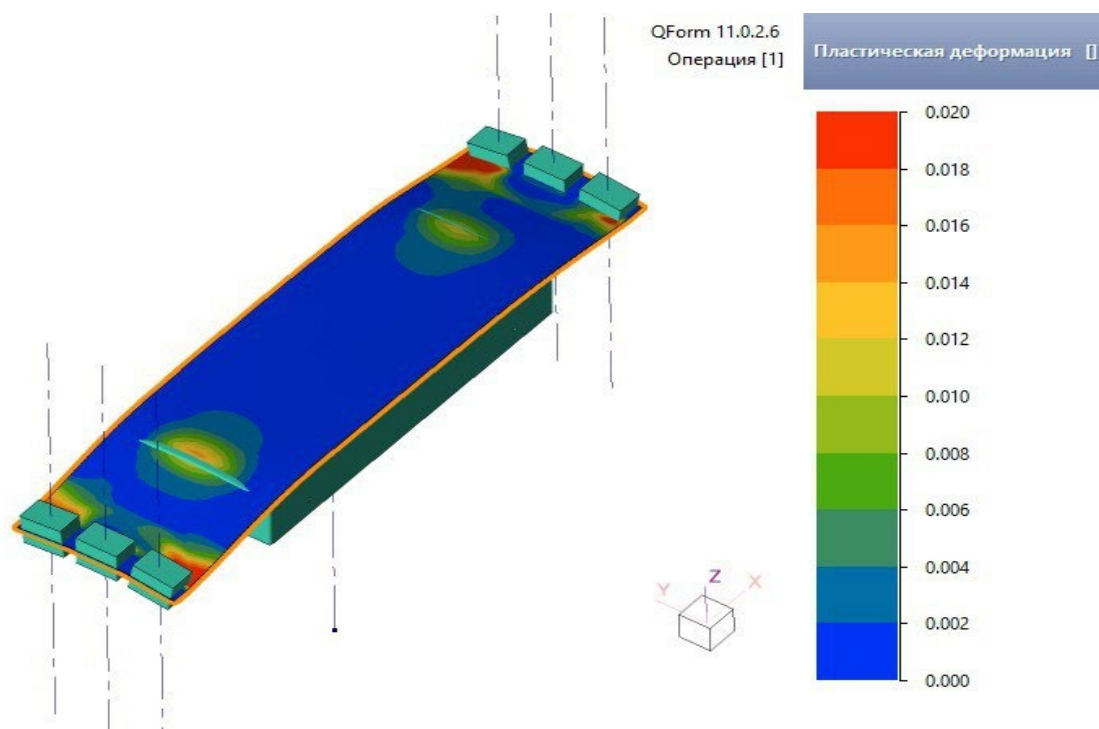


Рисунок 16. Окончательный подъем стола пресса перед растяжением листовой заготовки после установки зажимов пресса по соответствующим контурам (3 этап). В районе крайних зажимов имеются существенное проявление локализации деформаций порядка 2,0%

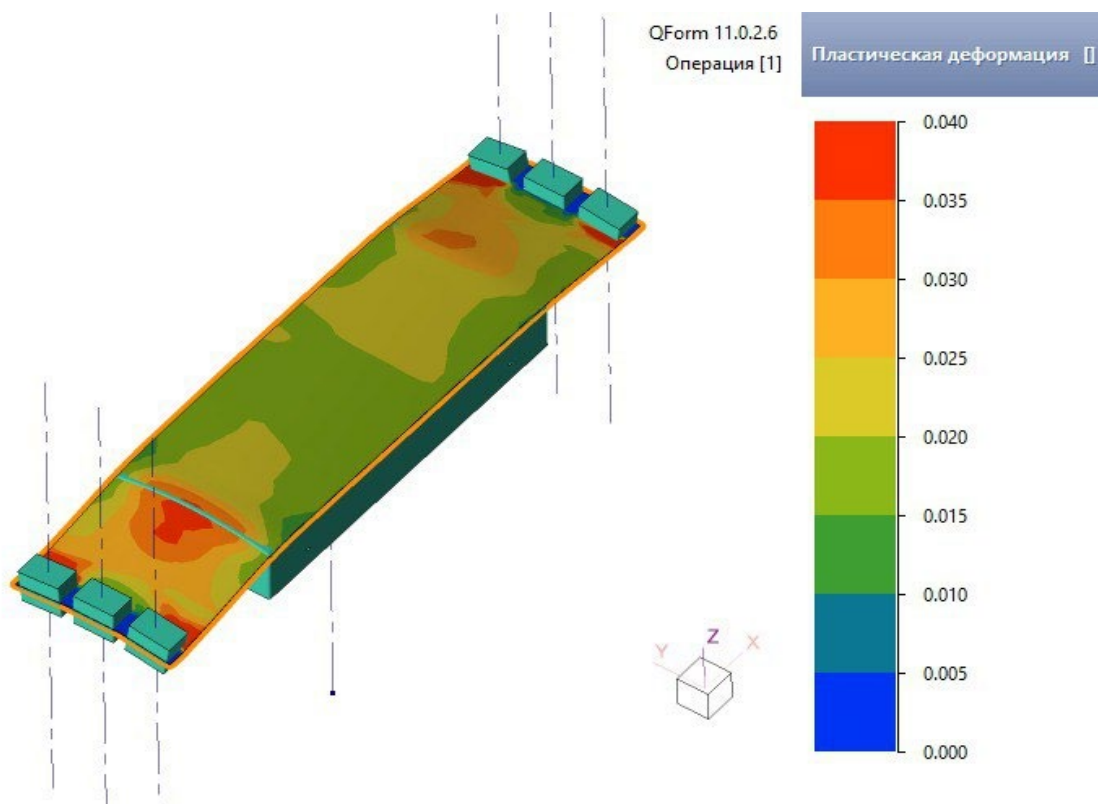


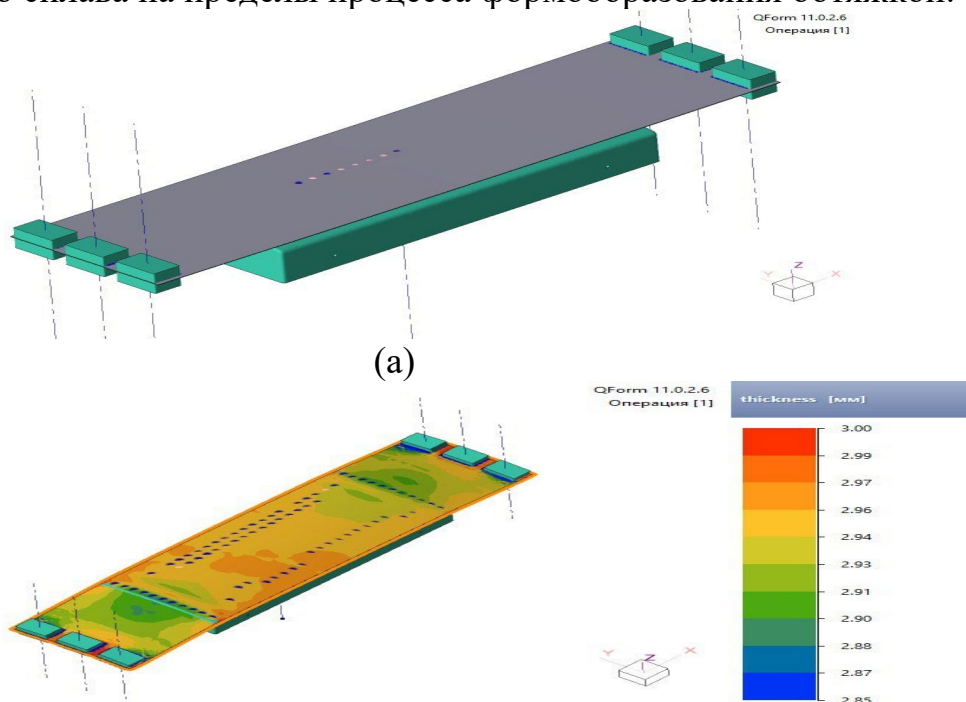
Рисунок 17. Окончательное растяжение листовой заготовки в районах прижатых частей листовой заготовки к поверхности обтяжного пуансона. Растяжение прижатых частей листовой заготовки выравнивает

деформационный фон поверхности оболочковой детали, деформация
порядка (2,0 – 2,5)%

При моделировании процесса формообразования обтяжкой придерживались последовательности шаговых движений, определяемых шаговой последовательностью и значениями перемещений рабочих органов обтяжного пресса РО-3М, указанных в таблице 3. В процессе вычисления при моделировании процесса обтяжки контролировали величины перемещений плунжеров левого и правого растяжного цилиндра пресса, чтобы середина листа оставался неподвижным. В нашем случае длины левого и правого участков листовой заготовки не одинаковые.

Наблюдается визуализация контакта листовой заготовки с поверхностью обтяжного пуансона в системе QForm, можно включить зоны контакта листа с поверхностью обтяжного пуансона и фонового распределения толщины, причем с включенной сеткой. Имеется необходимая информация для выполнения точного задания технологом последовательности этапов, режимов технологического процесса обтяжки. На рисунке 18 показаны зоны контакта листа при оборачивании плоской листовой заготовки поверхности обтяжного пуансона на втором этапе (а) и при окончательном растяжении листовой заготовки с палитрой значения толщины в зонах прижатых частей листовой заготовки к поверхности обтяжного пуансона на пятом этапе (б).

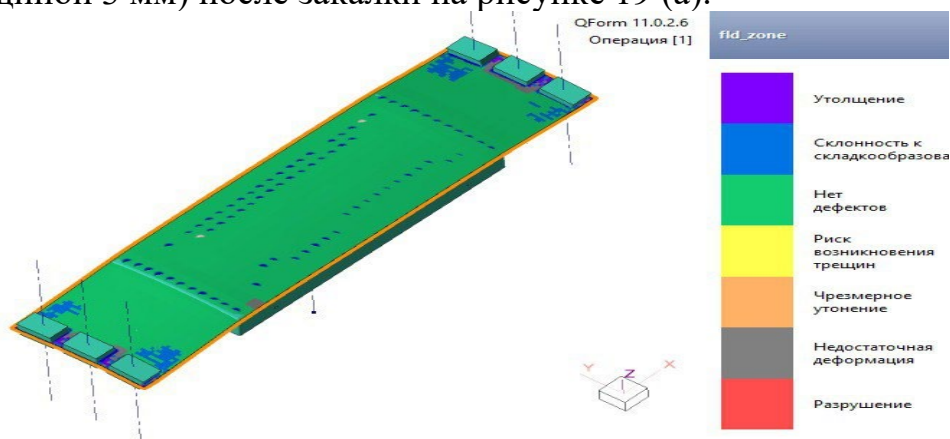
Появилась возможность прогнозировать дефектообразования с практической точки зрения, используя диаграммы предельных деформаций (FLD), что позволяет с достаточной точностью определить степень формоизменения данного листового материала, при которой не возникают какие-либо дефекты. Приведенные результаты исследования выявили особенности влияния реологического поведения деформируемого листового алюминиевого сплава на пределы процесса формообразования обтяжкой.



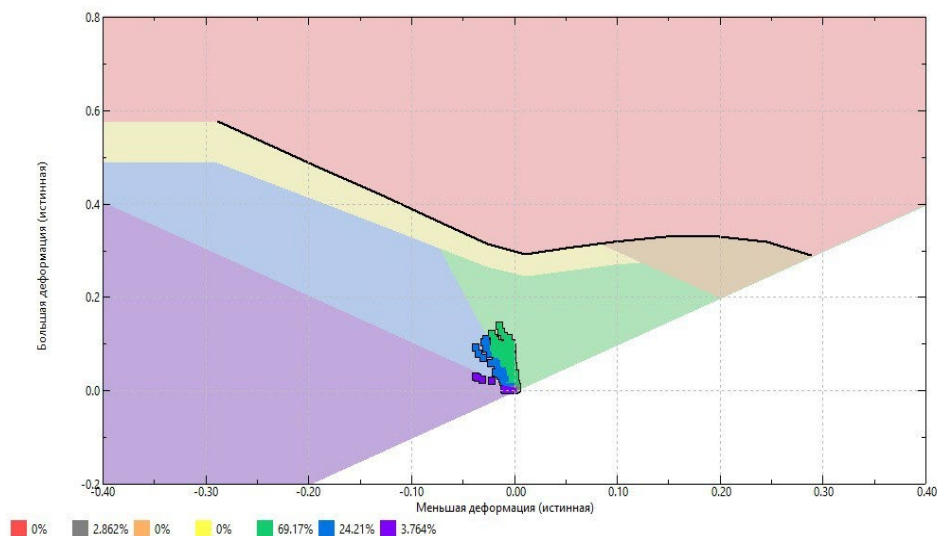
(б)

Рисунок 18 – Зоны контакта листа при оборачивании плоской листовой заготовки поверхности обтяжного пуансона на втором этапе (а) и зоны прижатых частей листовой заготовки к поверхности обтяжного пуансона на пятом этапе (б) окончательного растяжения

Пока решили провести моделирование одного варианта с учетом влияния реологического поведения деформируемого алюминиевого сплава после закалки листовой заготовки. Особенности свойств закаленного листового материала приведены в протоколе испытания образцов из сплава АК4-1 (толщиной 3 мм) после закалки на рисунке 19 (а).



(а)



(б)

Рисунок 19 - Результат обработки деформированного состояния оболочки после закалки листовой заготовки (а). Сравнение с цветной палитрой на диаграмме предельных деформаций (б)

Результаты вычислений в системе QForm значений главных деформаций δ_1 и δ_2 собраны в отдельных файлах для их размещения на FLD диаграммах предельного формообразования материала листа. Диалог работы с диаграммой предельных деформаций вызывается после нажатия на

характерную иконку. На рисунке 19 показан постпроцессинг FLD для режима закалки: температура нагрева 535 градусов 20 минут с охлаждением в воду. Считаем, что прогнозирование дефектообразования с практической точки зрения позволяет с достаточной точностью определить степень формоизменения данного листового материала, при которой не возникают какие-либо дефекты. В производстве эта возможность является крайне важной, особенно при формообразовании обтяжкой деталей обшивок самолета из новых листовых материалов. Самой неустойчивой при комнатной температуре структурой в термически упрочняемых алюминиевых сплавах является свежезакаленное состояние - пересыщенный твердый раствор легирующих элементов в алюминии, концентрация которого может превышать в десятки раз равновесное состояние. В таком состоянии алюминиевый лист также очень пластичный, точнее очень вязкий, поэтому менее устойчивый к формообразованию, чем в равновесном состоянии.

5. Предварительные испытания автоматизированной системы (АРМ-технолога)

Проанализировав данные калибровочных наладок растяжно-обтяжного пресса РО-3М с помощью плагина «АвиаФорм» результаты расчетов в программном комплексе QForm проводим предварительные испытания автоматизированной системы (АРМ-технолога). Предварительные испытания – это испытания АС, проводимые до ее ввода в опытную эксплуатацию. Их цель – найти возможные недоработки при проектировании и разработке АС, а также проверить, как она будет работать во взаимодействии с компонентами или оборудованием в автономном режиме. Автономный режим испытания проводится на рабочем месте АРМ технологом согласно инструкции «АвиаФорм». Рассматривался порядок ведения автоматизированного формообразования оболочки переменной кривизны обтяжкой листовой заготовки с помощью компьютерного приложения системы управления для виртуального отображения реального растяжно-обтяжного пресса РО-3М с учетом его кинематических особенностей [8].

Запускается ПО плагина «АвиаФорм» и Компас-3D. Откроется окно Компас-3D, а в нем сборка, содержащая модель пресса РО-3М. На первой закладке можно задать наименование конкретной детали обшивки, размеры листовой заготовки. Так же можно выбрать модель обтяжного пуансона. На закладке анимации расположены элементы управления шагами анимации и элементы управления органами пресса на текущем шаге анимации. На интерфейсе плагина задаются шаги анимации для проектируемого процесса формообразования обтяжкой конкретной оболочковой детали (достаточно 5-9 шагов). Введенные значения шагов анимации переводятся по формулам в положения органов пресса и отображаются в окне Компас-3D.

«Экспорт файла QForm» вызывает диалог экспорта модели в файл, предназначенный для расчета в QForm. Можно задать время симуляции и размеры элемента расчетной сетки листовой заготовки, которые влияют на время и точность расчета. Шаги анимации сохраняются отдельным файлом, и он передается через машинный код в ЧПУ растяжно-обтяжного пресса РО-3М.

Проводим комплексные испытания для групп взаимосвязанных частей АС или для АСУ ТП в целом, где проверяют работоспособность АС и ее взаимодействие с другими компонентами или оборудованием. Комплексные испытания проводятся на рабочем месте оператора пресса (АРМ оператора) после предоставления ему файла с матрицей управления для процесса формообразования обтяжкой конкретной оболочковой детали и подготовки ЧПУ пресса. Комплексные испытания проводятся в следующей последовательности:

- контролируется наличие и правильность установки обтяжного пуансона на столе пресса;
- контролируется наличие и соответствие размеров и состояния сплава листовой заготовки (сопроводительная документация);
- контролируется отсутствие аварийных сигналов и готовность пресса к пуску;
- производится последовательное включение насосной станции гидравлической системы пресса;
- производится включение в работу смазочной станции;
- контролируется готовность всех систем для выполнения движений исполнительных органов пресса (отсутствие аварийных сообщений);
- подается листовая заготовка в зажимные устройства пресса;
- осуществляется зажим листовой заготовки;
- выполняется процесс формообразования обтяжкой листовой заготовки при последовательной отработке кадров программы движений рабочих цилиндров в автоматическом режиме согласно с цикловой диаграммой, полученной от АРМ технолога.

В ходе выполнения автоматического режима процесса формообразования обтяжкой контролируется:

- наличие визуализации значений перемещений рабочих органов пресса, оснащенных датчиками перемещения;
- наличие визуализации значений давления (усилия) рабочих органов пресса, оснащенных датчиками давления;
- достижение всех задаваемых системой параметров расчетных значений и последовательный переход к следующему кадру программы управления соответствии с алгоритмом, полученным от АРМ технолога;

- наличие визуальных технологических параметров на мониторе АРМ оператора в режиме реального времени;
- подготовка протокола комплексного испытания.

После завершения процесса формообразования обтяжкой листовой заготовки осуществляется снятие оболочковой детали (рисунок 20).



Рисунок 20 – Готовая оболочковая деталь

В результате изготовили группу оболочковых деталей в автоматическом режиме в количестве семи штук. Выполнили измерение инструментами значений полученных деформаций и толщины по методике в местах листовой заготовки нанесенных базовых рисок силами специалистов с участием технологов. В объеме комплексного испытания планируется получение разных оболочковых деталей.

Заключение

На этапе вычислений тщательно проверяли результаты расчетов и оценивали возможные корректировки, которые необходимо было внести в рассматриваемую анимацию, чтобы отправить новую анимацию в расчет, сравнивая текущие результаты. Разрабатываются приложения машинного обучения за счет алгоритма ускорения вычислений по оптимизации управляющей программы УП, которая выполняется при активном использовании умных алгоритмов и кинематической модели виртуального растяжно-обтяжного прессы с ЧПУ. Выбор базовой системы при построении АРМ технолога, в конечном итоге, сводится к основному набору функциональных свойств и требований, которым она должна соответствовать, среди них:

→→ гибкая система адаптации под специфические условия того или иного предприятия, включающая в себя модули построения информационно-технологических связей, пользовательских интерфейсов и генерирования любой возможной технологической документации;

→→ интеграция с конструкторским интерфейсом, позволяющая технологю работать непосредственно с изображениями двух- и трехмерного технологического объекта (созданных в таких пакетах, как NX12) и максимально использовать визуальную информацию в процессе технологического проектирования;

→→ интеграция с системой управления базами данных, позволяющая использовать накопленный технологический опыт, справочную и специфическую информацию, получать и обрабатывать рабочие параметры технологических объектов;

→→ минимальный относительный объем временных и финансовых затрат (в том числе на обучение пользователей);

→→ подготовка всей необходимой информации для оперативного и эффективного управления производством.

Автоматизированное рабочее место (АРМ) - это программно-технический комплекс автоматизированной системы, предназначенный для автоматизации деятельности определенного вида. Программно-технический комплекс автоматизированной системы по ГОСТ 34.003-90 - это продукция, представляющая собой совокупность средств технического обеспечения, программного обеспечения и средств создания и заполнения машинной информационной базы (информационное обеспечение) при вводе системы в действие, достаточных для выполнения одной или более задач автоматизированной системы.

Список литературы

1. Михеев, В.А. Основы расчета процесса формообразования обтяжкой тонких оболочек двойной кривизны [Текст] / В.А. Михеев, С.В. Сурудин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2017. – Т. 19. № 1(3). – С. 555-562.
2. Михеев, В.А. Метрическое преобразование поверхности обтяжного пуансона для формообразования листовых оболочек двойной кривизны [Текст] / В.А. Михеев, Ф.В. Гречников, Р. де Алваренга, В.В. Бодров // Серия конференций IOP: Материаловедение и машиностроение. – 2021. – Т. 1155. – С. 12010. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/1155/1/012010>, (дата обращения: 10.02.2023).
3. Михеев, В.А. Моделирование траектории перемещения зажимов листовой заготовки при формообразовании обтяжкой оболочковой детали [Текст] / В.А. Михеев, А.Ф. Гречникова, Р. де Алваренга, М.М. Демидова // Серия конференций IOP: Материаловедение и машиностроение. – 2021. – Т. 1181. – С. 12016. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/1181/1/012016>, (дата обращения: 10.02.2023).
4. Михеев, В.А. Компьютерное приложение системы управления кинематикой виртуального растяжно-обтяжного пресса РО-630-11 [Текст] / В.А. Михеев, Р. де Алваренга, М.М. Демидова // Серия конференций IOP:

Материаловедение и машиностроение. – 2021. – Т. 2094. – С. 42057. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2094/4/042057>, (дата обращения: 10.02.2023).

5. Михеев В.А., Тарасов В.А., Баранова М.М. и др. Преобразование схемы формообразования обтяжкой на принципах симметрии // Известия Самарского научного центра РАН. — 2024. — Т. 26. № 1. — С. 53-62.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025613136 «Система автоматизированного проектирования процессов производства обшивок летательных аппаратов AviaForm PO 630-11./ Булычев О.И., Михеев В.А., Сурудин С.В., Воробьев Д.И., заявка № 2025610331 от 10.01.2025г., дата гос. Регистрации в Реестре программ для ЭВМ 07.02.2025г.

7. Патент на изобретение № 2799365 Способ формообразования обтяжкой длинномерных деталей оболочек двойной кривизны, имеющих двояковыпуклую пологую форму. / Бодров В.В., Михеев В.А., Багаутдинов Р.М., Бухаров И.В., Батулин А.А., Сурудин С.В., заявка № 2022129012, приоритет изобретения 09.11.2022г., дата госрегистрации 05.06.2023г.

8. Решение о выдаче патента на изобретение, заявка № 2024109455/05(021277) от 08.04.2024 Способ автоматизированного формообразования оболочки переменной кривизны обтяжкой листовой заготовки. / Бодров В.В., Михеев В.А., Багаутдинов Р.М., Бухаров И.В., Батулин А.А., Гречников Ф.В., Чемпинский Л.А., Баранова М.М., Тарасов В.А.

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ «ТРОЙНИК» С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА QFORM

Николенко К.А.¹, Попов И.П.², Казаков А.В.³

1 – к.т.н., доц., «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара

2 – д.т.н., проф., «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара

3 – аспирант, «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара

Аннотация. В докладе представлены результаты компьютерного моделирования процесса листовой штамповки детали «Тройник» с использованием программного обеспечения QFORM V10. Были выявлены сложности, возникающие при изготовлении этого изделия с помощью выбранной технологии, а также рассмотрена возможность применения отечественной системы автоматизированного проектирования для проверки технологического процесса штамповки листового материала.

Ключевые слова: моделирование, высокотемпературная листовая штамповка, QFORM, BT20, тройник.

EVALUATION OF THE MAXIMUM POSSIBILITIES OF STAMPING THE "TEE" PART USING THE QFORM SOFTWARE PRODUCT

Nikolenko K.A.¹, Popov I.P.², Kazakov A.V.³

1 – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara

2 – Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara

3 – Postgraduate student, Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara

Abstract. The report presents the results of computer modeling of the process of sheet stamping of the "Tee" part using the QFORM V10 software. The difficulties encountered in manufacturing this product using the chosen technology were identified, and the possibility of using a domestic computer-aided design system to verify the technological process of stamping sheet material was considered.

Keywords: modeling, high temperature sheet stamping, QFORM, tee.

Изделия, полученные листовой штамповкой часто подвергаются деформациям, превышающим предельные для листовой заготовки. При разработке технологического процесса изготовления деталей необходимо учитывать этот фактор.

В представленной работе дана оценка предельных возможностей технологии горячей листовой штамповки детали «Тройник» из титанового сплава BT20. Исследования основаны на результатах моделирования в программном комплексе QFORM V10 и экспериментах с использованием гидравлического оборудования (гидравлический пресс РУЕ-1605).

Параметры процесса.

Были предложены две формы исходной заготовки и три набора параметров для получения детали «Тройник»:

1) Прямоугольная заготовка 215x178 мм толщиной 1,5 мм. Температура заготовки 800°C, температура оснастки 700°C, температура окружающей среды 450°C.

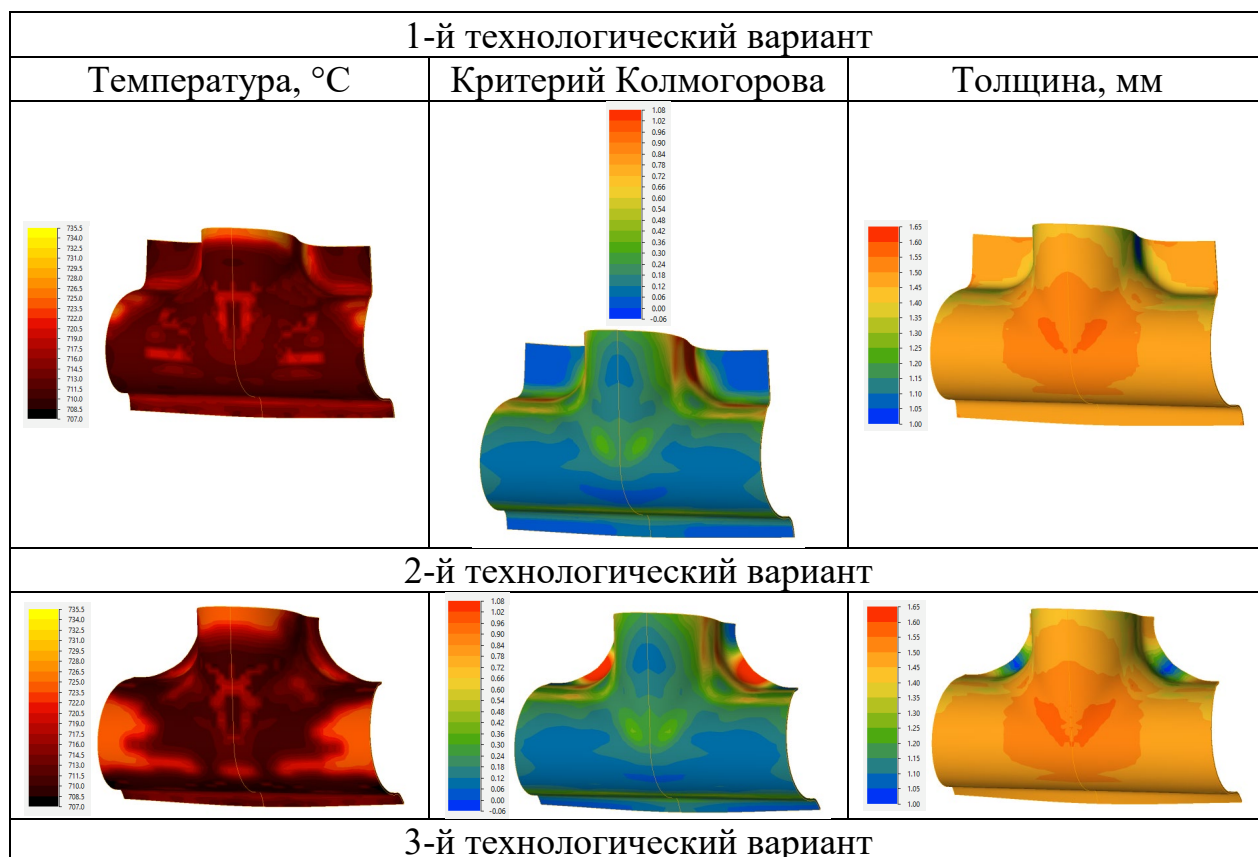
2) Прямоугольная заготовка 215x178 мм толщиной 1,5 мм с двумя вырезами R34,5 мм. Температура заготовки 800°C, температура оснастки 700°C, температура окружающей среды 450°C.

3) Прямоугольная заготовка 215x178 мм толщиной 1,5 мм с двумя вырезами R34,5 мм. Температура заготовки 800°C, температура оснастки 700°C, температура окружающей среды 700°C.

Оценка предельной деформации при моделировании в программном продукте QFORM выполнена с используется критерий Колмогорова для материала VT20.

Результаты моделирования

В результате моделирований были получены и проанализированы поля распределения температур при формообразовании и эпюры критической деформации по Колмогорову для трех вариантов штамповки (см. рисунок 1).



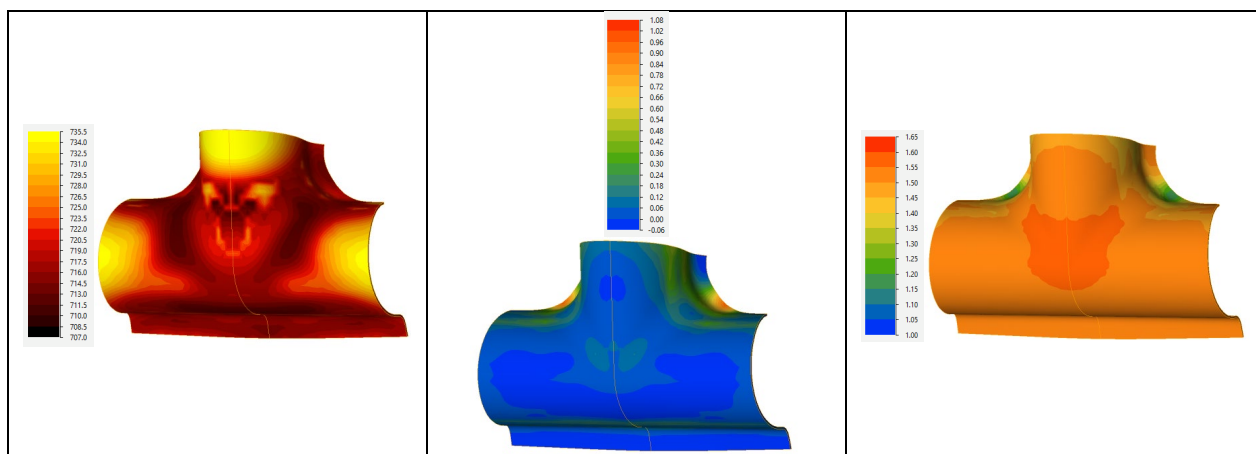


Рисунок 1. Поля критерия Колмогорова, температуры и толщины заготовки для трех вариантов моделирования

Из рисунка 1 видно, что поля толщины и температуры коррелируются с полем значений критерия Колмогорова.

Отличия между 2 и 3 вариантами обусловлены соблюдением температурного режима штамповки, на основании чего было произведено дополнительное моделирование и рассчитан критерий разрушения. Зависимость максимальных значений критерия разрушения от температуры представлены на графике (рис.2).

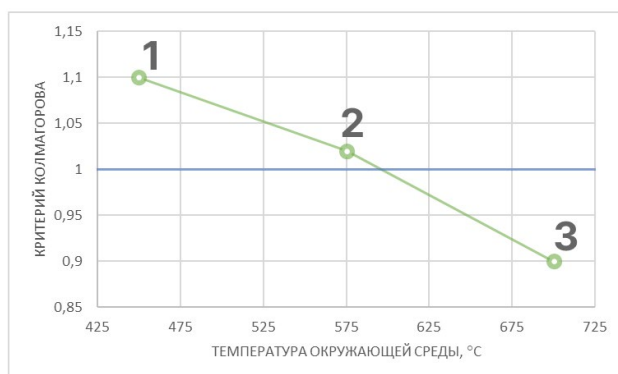


Рисунок 2. График зависимости максимальных значений критерия Колмогорова от температуры

В результате верификации результатов был выбран третий вариант технологических параметров штамповки, который был применён в условиях реального производства и подтвердил результаты исследований (рис.3).

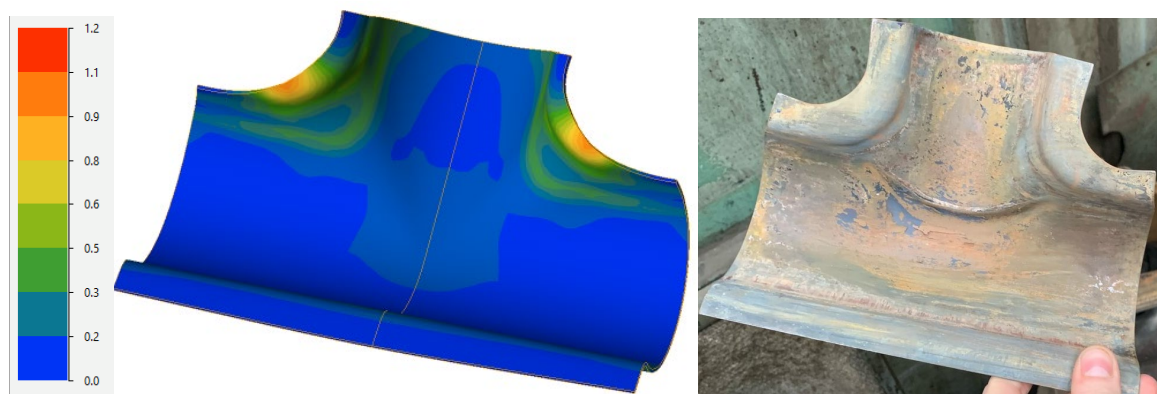


Рисунок 3. Поле распределения значений критерия Колмогорова (слева) и результат штамповки на реальном оборудовании (справа)

Вывод

В программе QFORM-3D было проведено моделирование процесса горячей листовой штамповки детали «Тройник» из титанового сплава BT20. В результате моделирования были подобраны технологические параметры, а именно, размеры заготовки, расстояния между матрицей и прижимом, температурный режим штамповки. При несоблюдении режима штамповки существует риск превышения предельных возможностей деформирования заготовки, что приведет к разрушению радиусной части полуфабриката.

Список литературы

1. Автореферат, Харсеев В.Е. Совершенствование процессов холодной листовой штамповки на основе оценки степени использования ресурса пластичности материала заготовки. Издательство Московского Политеха, г. Москва, 2016.
2. Сторожев, М.В. Теория обработки металлов давлением / М.В. Сторожев, Е.А. Попов. М.: Высшая школа. – 1963. – 388 с.
3. ГОСТ Р 57700.2—2017 Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения.
4. Полухин, П. И. Деформации и напряжения при обработке металлов давлением (Применение методов муар и координатных сеток) / П. И. Полухин, В. К. Воронцов, А. Б. Кудрин и др. М.: Металлургия. – 1974. – 336 с.
5. Особенности экономичных схем штамповки поковки сложной формы в открытом штампе, проектируемых с применением численного моделирования / А. В. Вовченко, К. А. Костенко, О. И. Катрич. // Вестник Донского государственного технического университета. – 2018. Т. 18, № 1, С. 38–49.

УДК 621.7.043

АНАЛИЗ СОГЛАСОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ С ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ ПРОЦЕССА ОСАДКИ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ В ПРОГРАММЕ LS-DYNA

Николенко К.А.¹, Фомичев Д.С.², Попов И.П.³

1 – к.т.н., доц., с.н.с. каф. «ОМД» Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва (Самарский Университет), г. Самара

2 – студ. Самарского Университета, г. Самара

3 – д.т.н., проф., в.н.с. каф. «ОМД» Самарский Университет, г. Самара

Аннотация. Работа посвящена способу профилирования толщины трубной заготовки осадкой на устройстве, с компенсатором давления на матрицу, позволяющему получить монотонный профиль. Выведены формулы для расчёта технологических параметров. Смоделирован процесс осадки образца из материала Д16М с использованием пакета LS-DYNA. В качестве результатов представлена оценка изменения толщины заготовки в течении процесса при разных коэффициентах трения, интенсивности деформации и интенсивности напряжения.

Ключевые слова. Профилирование, монотонное распределение толщины, LS-DYNA, холодная листовая штамповка, различные коэффициенты трения

ANALYSIS OF THE COORDINATION OF EXPERIMENTAL AND THEORETICAL DATA ON THE DEPOSITION OF A PIPE BILLET IN THE LS-DYNA PROGRAM

Nikolenko K.A.¹, Fomichev D.S.², Popov I.P.³

1 – PhD, docent, senior research officer of the department of “Metal forming” Samara National Research University (Samara University), Samara

2 – student of Samara University, Samara

3 – D.E.S., full professor, leading researcher of the department of “Metal forming”, Samara University, Samara

Abstract. The work is devoted to a method of profiling the thickness of a pipe billet by a draft on a device with a pressure compensator on a die, which allows to obtain a monotonous profile. Formulas for calculating technological parameters are derived. The deposition process of a sample from the Д16М material using the LS-DYNA package is modeled. The results are an assessment of changes in the thickness of the workpiece during processing at different coefficients of friction, intensity of deformation and stress.

Keywords. Profiling, uniform thickness distribution, LS-DYNA, cold sheet stamping, different coefficients of friction.

В работе представлен метод профилирования толщины трубных заготовок осадкой. Разработано устройство с компенсатором давления на матрицу. Схема устройства и конечно-элементная модель для компьютерного моделирования процесса в программном продукте LS-DYNA представлены на рисунке 1.

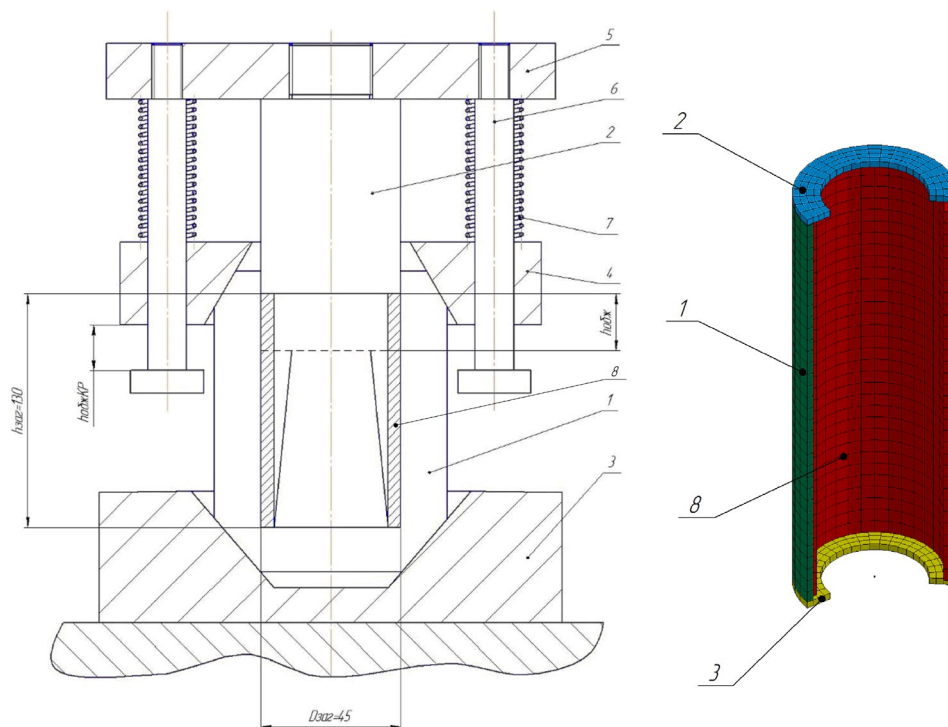


Рисунок 1. Схема оснастки для осадки трубной заготовки и конечно-элементная модель процесса осадки:

1 – матрица, 2 – пуансон, 3 – фиксирующий упор нижней части матрицы, 4 – фиксирующий упор верхней части матрицы, 5 – пуансонодержатель, 6 – винт, 7 – пружина, 8 – заготовка.

Для реализации представленной схемы формообразования составлена методика расчёта технологических параметров, включающая зависимости для определения констант материала n , A и толщины детали S . Для определения толщины выведена аналитическая зависимость (1). Формула (1) позволяет определить распределение толщины вдоль образующей при осадке в зависимости от свойств материала, трения и геометрических размеров заготовки и оснастки.

$$S = S_0 \left\{ 1 + \left[\frac{\sigma_{h'}}{\beta A} \exp \left(\frac{\mu f_{\text{тр}} h}{R} \right) \right]^{\frac{1}{n}} \right\} \quad (1)$$

где $\sigma_{h'}$ – меридиональное напряжение, β – коэффициент Ладе, μ – коэффициент трансверсальной анизотропии материала, A и n – константы материала, $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения

График относительного изменения толщины при сжатии представлен на рисунке 2. График построен на основе выведенной аналитической зависимости распределения толщины (1) для различных коэффициентов трения в зависимости от относительных размеров заготовки.

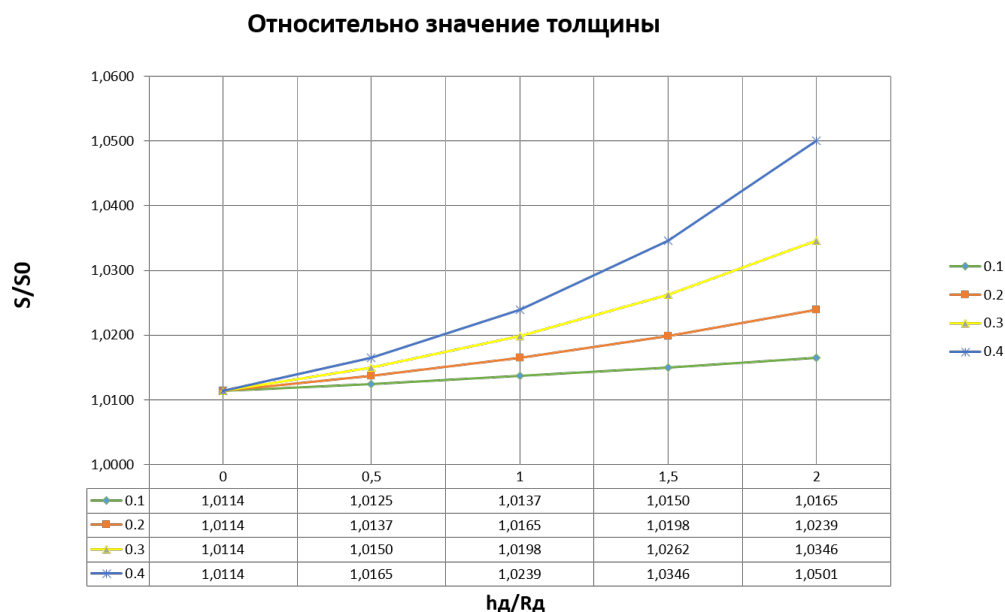


Рисунок 2. График изменения толщины при осадке трубной заготовки при различных коэффициентах трения. h_d – высота детали, R_d – радиус детали, S – толщина детали, S_0 – толщина заготовки.

Для проверки результатов теоретических исследований было проведено моделирование процесса осадки в программном комплексе LS-DYNA для образца из материала Д16М, высотой h 90 мм, толщиной S 1.8 мм и коэффициентом трения $f_{тр}$ 0,2. Получены эпюры интенсивности деформаций, интенсивности напряжений и распределения толщины на различных стадиях процесса формообразования (см. рисунок 3, 4, 5).

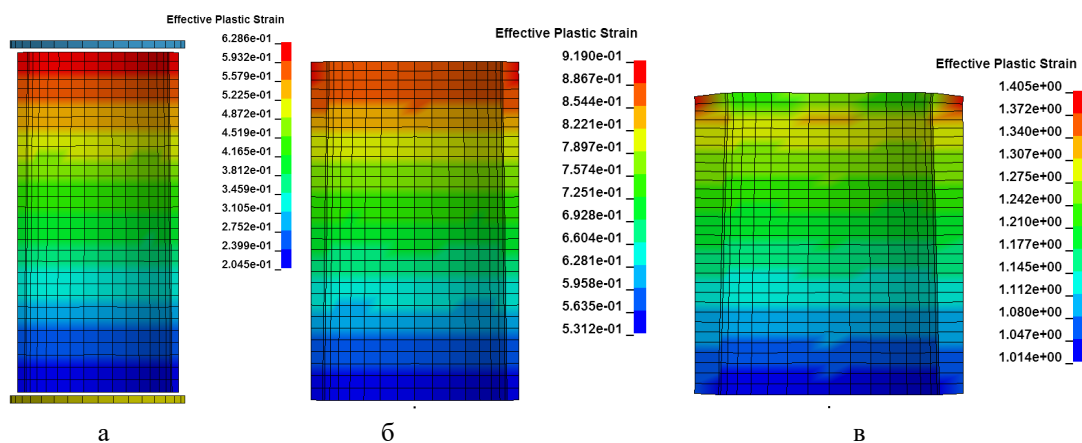
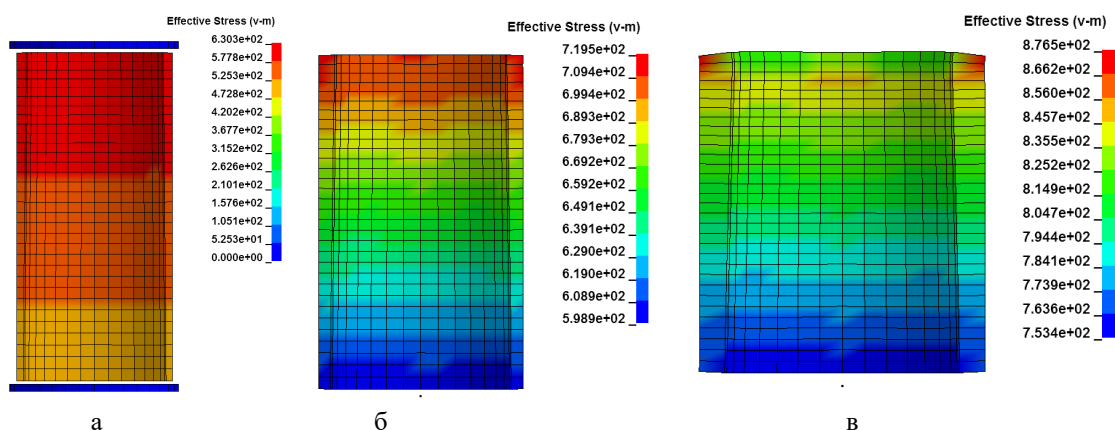
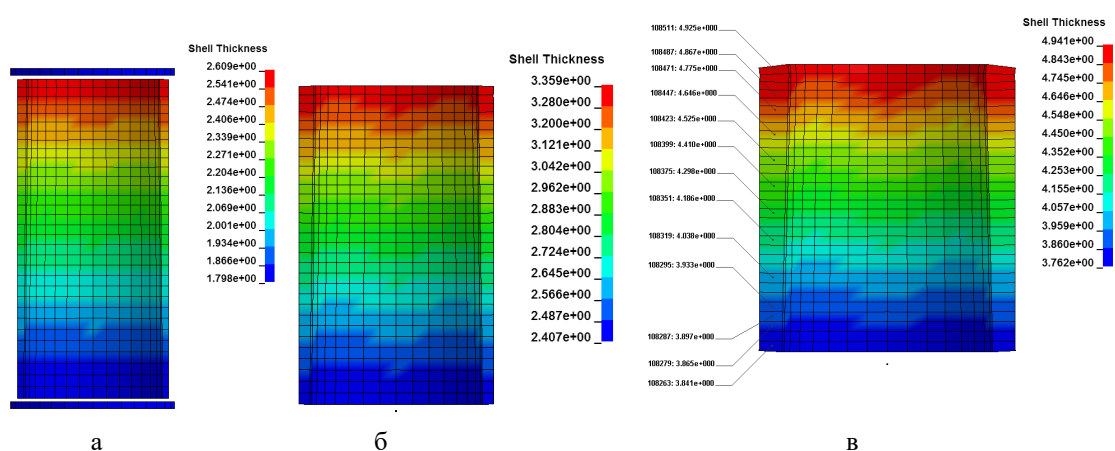


Рисунок 3. Интенсивность деформаций, мм/мм :
а – высота 90 мм, б – высота 70 мм, в – высота 48 мм.



а – высота 90 мм, б – высота 70 мм, в – высота 48 мм

Рисунок 4. Интенсивность напряжений, МПа



а – высота 90 мм, б – высота 70 мм, в – высота 48 мм

Рисунок 5. Распределение толщины на различных стадиях процесса

На основе проведённого моделирования процесса профилирования трубной заготовки осадкой установлен характер распределения толщины и напряжённо-деформированного состояния на всех этапах осадки. Установлена зависимость S/S_0 от h_d/R_d при различных коэффициентах трения позволяющая дать теоретическую оценку процесса с точки зрения разнотолщинности конечного изделия. Обнаружено что при деформировании цилиндрических оболочек основным фактором, влияющим на величину разнотолщинности, являются исходная толщина S и показатель упрочнения материала заготовки. Выведенная аналитическая зависимость (1) согласуется с полученными результатами моделирования.

Полученные результаты исследования могут быть использованы при производстве деталей трубопроводов [1, 2] и заготовок используемых на гидравлических прессах двойного действия, для последующего изготовления деталей с переменной толщиной [3, 4]. Полученные детали в свою очередь могут использоваться при создании сложных компонентов, таких как осесимметричные клапаны, которые могут применяться как в гражданской, так и в военной сфере аэрокосмической, автомобильной и ракетной отраслей промышленности.

Список литературы

1. Попов, И.П. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов № 134459 [Электронный ресурс] / И.П. Попов [и др.] // Федеральный Институт Промышленной Собственности. – 2013. – Бюл. № 32. – URL: <https://new.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=47eed982993b881d2d3d6156ca23fe62> (дата обращения: 28.09.2024);
2. Маслов, В.Д. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов № 130241 [Электронный ресурс] / В.Д. Маслов [и др.] // Федеральный Институт Промышленной Собственности. – 2013. – Бюл. № 20. – URL: <https://new.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=703b5a0db689db35f521fdcf07d4ba6> (дата обращения: 28.09.2024);
3. Маслов, В.Д. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов № 72649 [Электронный ресурс] / В.Д. Маслов [и др.] // Федеральный Институт Промышленной Собственности. – 2008. – Бюл. № 12. – URL: <https://new.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=5158887c9548cda9d45007514cbec6c4> (дата обращения: 28.09.2024);
4. Фомин, М.З. Способ изготовления биметаллических переходников малого диаметра многопереходной штамповки № 2574900 [Электронный ресурс] / М.З. Фомин [и др.] // Федеральный Институт Промышленной Собственности. – 2016. – Бюл. № 4. – URL: <https://new.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=b978da62440af491ae98a68d1f9abb95> (дата обращения: 28.09.2024).

УДК 621.981

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ И ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ФОРМОВКИ ДЕТАЛИ В ВИДЕ ШВЕЛЛЕРА НА ПРОФИЛЕГИБОЧНОМ СТАНЕ

Поворов С.В.

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

Аннотация. Процесс формовки в роликах профилегибочного стана деталей в виде швеллера достаточно хорошо исследован и опубликован в работах различных авторов [1], но, тем не менее, в этом процессе остаются вопросы, которые требуют отдельного исследования. К ним относятся например: вопрос о скорости движения заготовки, вопрос о подобии процессов формовки и определение энергосиловых параметров процесса. В данной работе приведены результаты исследования частных случаев формовки для швеллеров определённых размеров.

Ключевые слова: гнутый профиль проката, профилегибка, профилегибочный стан, гнутый швеллер.

RESEARCH OF CHANGES IN THE GEOMETRIC DIMENSIONS OF THE BLANK AND THE ENERGY-STRENGTH PARAMETERS OF DEFORMATION DURING THE FORMING OF A ROLL-FORMED STEEL CHANNELS ON A ROLL FORMING MACHINE

Povorov S.V.

PhD, docent of the Department of «Rolling equipment and technologies» BMSTU, Moscow

Abstract. The process of forming roll-formed steel channels on the roll forming machine has been well studied and published in the article of various authors [1], but, nevertheless, there are questions in this process that require individual research. These include, for example: the research of the speed of movement of the blank, the research of the similarity of roll forming processes and the determination of the energy-strength parameters of the process. This article presents the results of a research of roll forming steel channels for the set of sizes.

Keywords: roll-formed section, roll forming, roll forming machine, roll-formed steel channels.

Объектом исследования является процесс формовки на профилегибочном стане детали в виде швеллера, поперечное сечение которого показано на рис.1. В исследовании были рассмотрены швеллеры размерами 25x25x1, 50x50x2, 75x75x3 и 100x100x4 [2]. Как можно видеть, размеры швеллеров являются кратными, причём масштабируются не только размеры полки и стенки, но и толщина. Такой выбор был обусловлен тем, чтобы сравнить процессы формовки геометрически подобных профилей. Помимо размеров поперечного сечения так же было отмасштабировано и межклетьеовое расстояние, которое составляло 150мм, 300мм, 450мм и 600мм для каждого типоразмера соответственно. При построении калибровок формовочных роликов были рассмотрены два режима формовки: за шесть переходов (увеличение угла подгибки за переход 15°) и за десять переходов (увеличение угла подгибки за переход 9°).

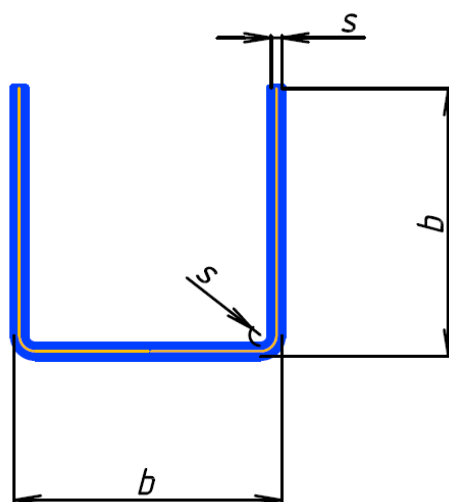


Рисунок 1. Поперечное сечение швеллера с обозначением размеров

Так же было рассмотрено два варианта привода формирующих роликов, в первом варианте привод имеют только нижние ролики, верхние являются холостыми и приводятся во вращение под действием движущейся полосы, во втором варианте привод имеют оба ролика в каждой клетки. Полный перечень рассмотренных калибровок приведён в таблице 1.

Таблица 1

№	Название модели	Ширина b , мм	Толщина s , мм	Кол-во переходов, N	Межклетье-вое расстояние W , мм	Привод роликов D
1	U-25x1-N6-W150-D1	25	1	6	150	1
2	U-50x2-N6-W300-D1	50	2	6	300	1
3	U-75x3-N6-W450-D1	75	3	6	450	1
4	U-100x4-N6-W600-D1	100	4	6	600	1
5	U-25x1-N6-W150-D2	25	1	6	150	2
6	U-50x2-N6-W300-D2	50	2	6	300	2
7	U-75x3-N6-W450-D2	75	3	6	450	2
8	U-100x4-N6-W600-D2	100	4	6	600	2
9	U-25x1-N10-W150-D1	25	1	10	150	1
10	U-50x2-N10-W300-D1	50	2	10	300	1
11	U-75x3-N10-W450-D1	75	3	10	450	1
12	U-100x4-N10-W600-D1	100	4	10	600	1
13	U-25x1-N10-W150-D2	25	1	10	150	2
14	U-50x2-N10-W300-D2	50	2	10	300	2
15	U-75x3-N10-W450-D2	75	3	10	450	2
16	U-100x4-N10-W600-D2	100	4	10	600	2

В графе «Название модели» представлено комбинированное название, которое включает в себя: тип профиля «U» (обозначение профиля в виде швеллера), далее указана ширина полки и толщина заготовки, количество переходов, межклетьевое расстояние, тип привода (1 – приводные только нижние ролики, 2 – приводные оба ролика в каждой клетке).

Расчёт процесса формовки проводился с применением программы LS-Dyna. В модели заготовка представлена полностью интегрируемыми оболочечными элементами. Для описания упругопластических свойств заготовки из стали 08пс была использована модель с линейным упрочнением со следующими механическими характеристиками: модуль упругости 2×10^5 МПа, коэффициент Пуассона 0.3, предел текучести 200 МПа, модуль упрочнения в пластической зоне 862 МПа. Длина заготовки во всех моделях превышает расстояние между роликами первой и последней клетки. Так сделано для того, чтобы при моделировании заготовка контактировала сразу со всеми формующими роликами и можно было наблюдать установившийся режим формообразования.

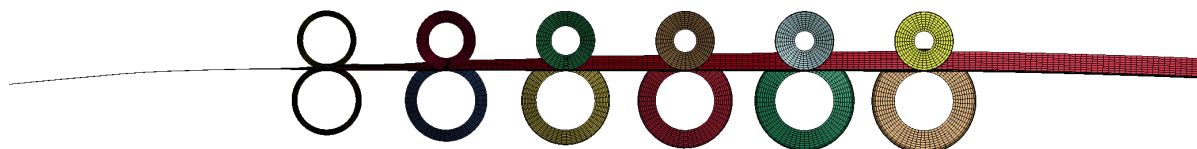
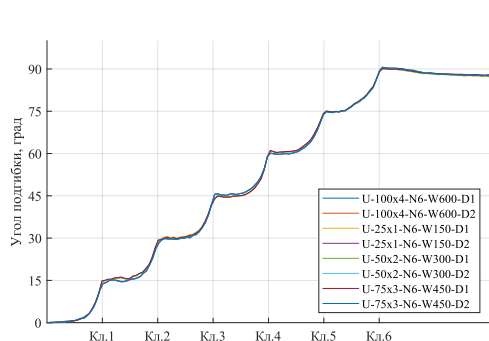
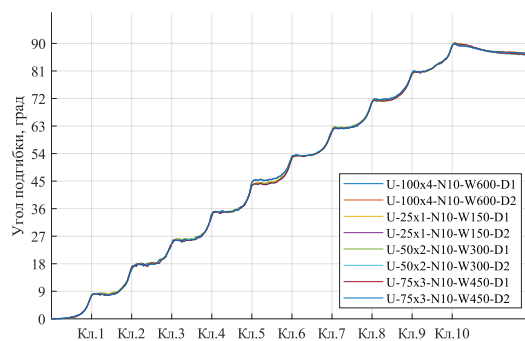


Рисунок 2. Внешний вид расчётной сетки математической модели в середине процесса формовки

На рис. 3 показаны графики изменения угла подгибки швеллера в процессе формовки, на рис. 3 а для формовки за шесть переходов, на рис. 3 б – за десять. Поскольку межклетьевые расстояния у разных калибровок отличаются, то для наглядности графики изменения углов были приведены к межклетьевому расстоянию. Как можно видеть на графиках, углы подгибки



а) 6 переходов



б) 10 переходов

Рисунок 3. Графики изменения угла подгибки по клеткам

достаточно хорошо совпадают для всех моделей, что может говорить о наличии некоторого закона подобия в процессе профилировки.

На рис. 4 показан график изменения скорости движения заготовки при её прохождении через формующие ролики.

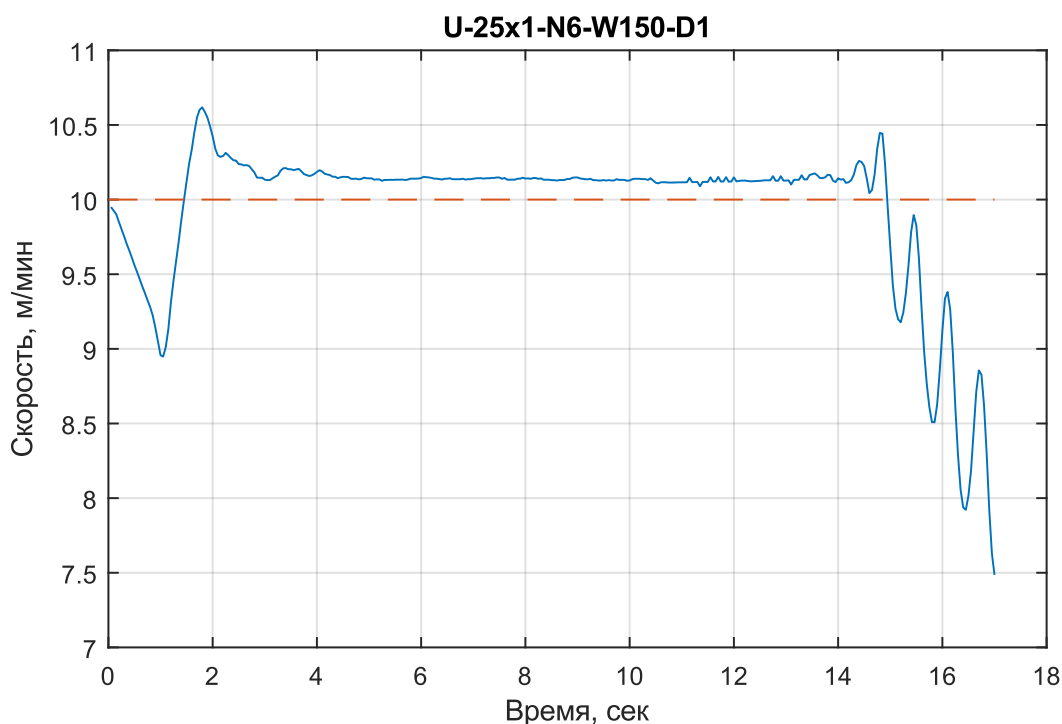


Рисунок 4. График изменения скорости движения заготовки в процессе формовки

Здесь нужно отметить, что расчётное значение скорости заготовки для четырёх типоразмеров профиля (25, 50, 75 и 100мм) было задано соответственно 10, 20, 30 и 40 м/мин. Исходя из этих значений и учитывая значения катающих радиусов роликов равных 37, 74, 111 и 148 мм была найдена угловая скорость вращения роликов. Катающие диаметры нижних и верхних роликов одинаковы. Из рис. 4 видно, что фактическое значение скорости оказалось несколько больше расчётного значения, это может объясняться тем, что линейная скорость на конических участках формующих роликов больше, чем на катающем диаметре, за счёт большего значения радиуса, таким образом, под действием сил трения между роликом и заготовкой, скорость последней становится больше расчётного значения.

На рис. 5 показана гистограмма расчётного и фактического значения скорости заготовки для всех шестнадцати вариантов калибровок. По этой гистограмме видно, что во всех случаях фактическое значение скорости заготовки превышает расчётное, причём, для калибровок в которых верхние ролики являются холостыми (параметр D равен 1) превышение скорости больше, чем в случае, когда оба ролика в каждой клетке являются приводными. Так же из значений, указанных на диаграмме, можно определить, что увеличение скорости заготовки составляет от 0.93% до 1.67%.

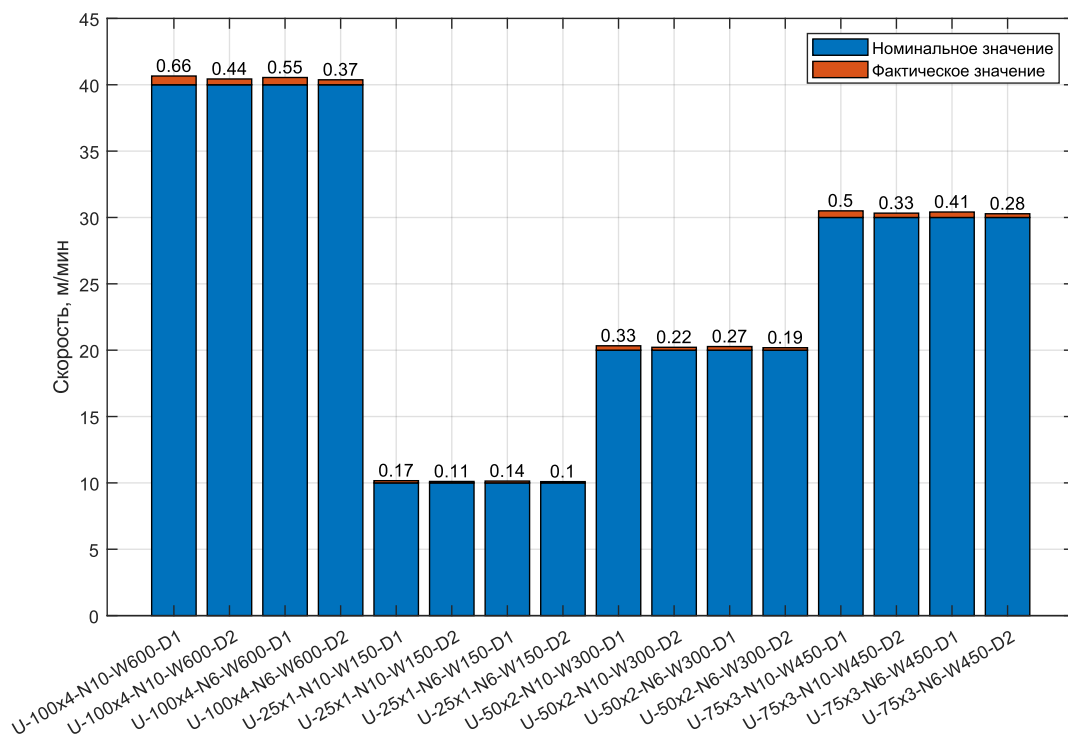


Рисунок 5. Расчётное и фактическое значение скорости заготовки для разных вариантов калибровок

На рис. 6 приведён график изменения крутящего момента на каждом приводном валу для калибровки швеллера 25x25x1 который формируется за шесть переходов и приводными являются только нижние ролики. По этому графику видно, как по мере захода заготовки в формующие клетки, крутящий момент на приводных валах возрастает, а по мере выхода заготовки, момент в клетях последовательно снижается до нуля. На промежутке времени примерно от 6 сек до 9 сек заготовка контактирует со всеми формующими роликами и в этот момент режим формовки можно считать установившимся.

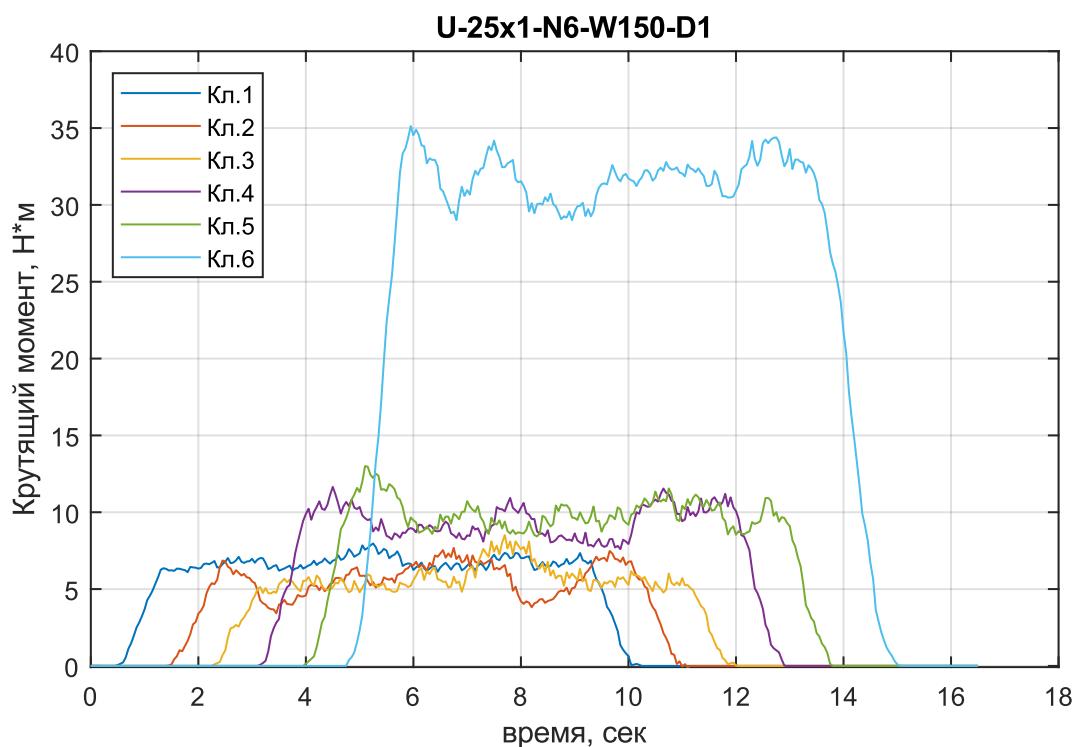
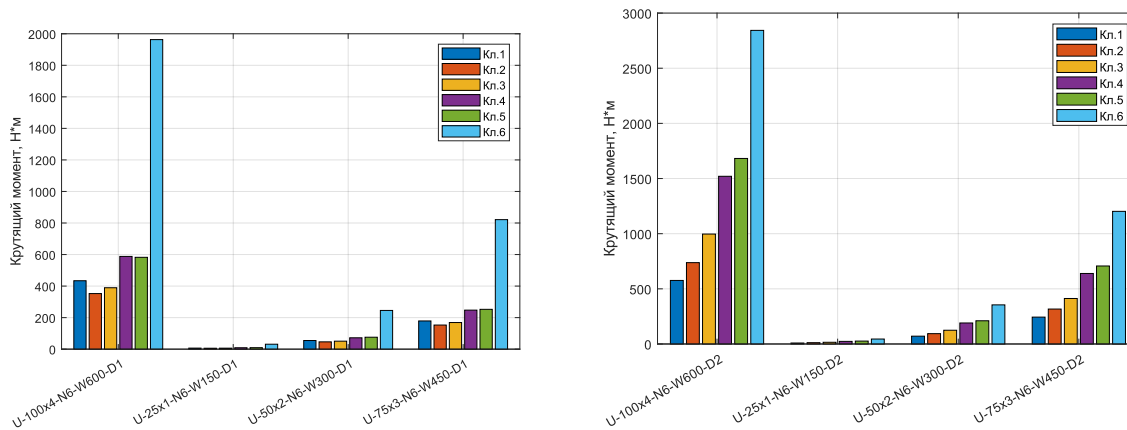


Рисунок 6. Значение крутящего момента на каждом приводном ролике

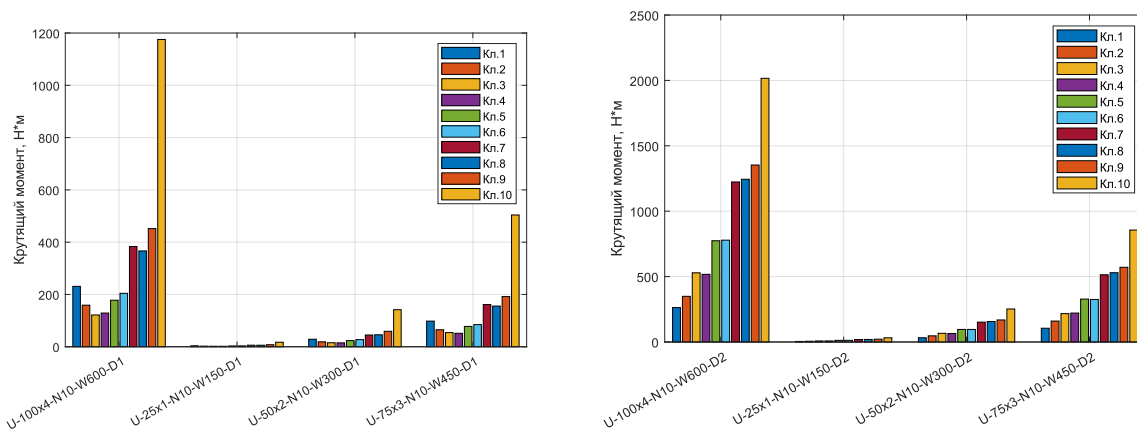
Для установившегося режима формовки было определено среднее значение крутящего момента для каждой клетки, эти значения показаны на рис. 7 а, б – для формовки за шесть переходов, на рис. 8 а, б – за десять переходов.



а) приводные только нижние валы

б) приводные оба вала

Рисунок 7. Распределение крутящего момента по клетям для случая формовки за шесть переходов

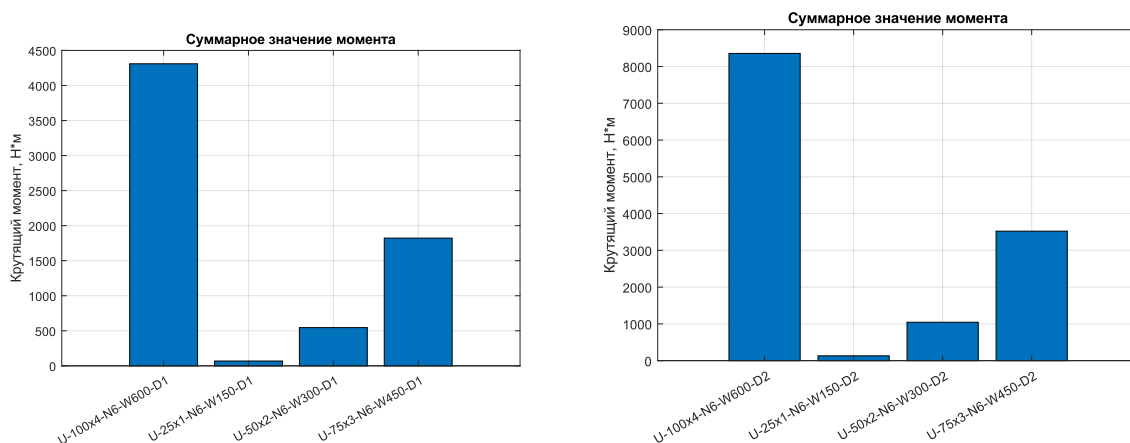


а) приводные только нижние валы

б) приводные оба вала

Рисунок 8. Распределение крутящего момента по клетям для случая формовки за десять переходов

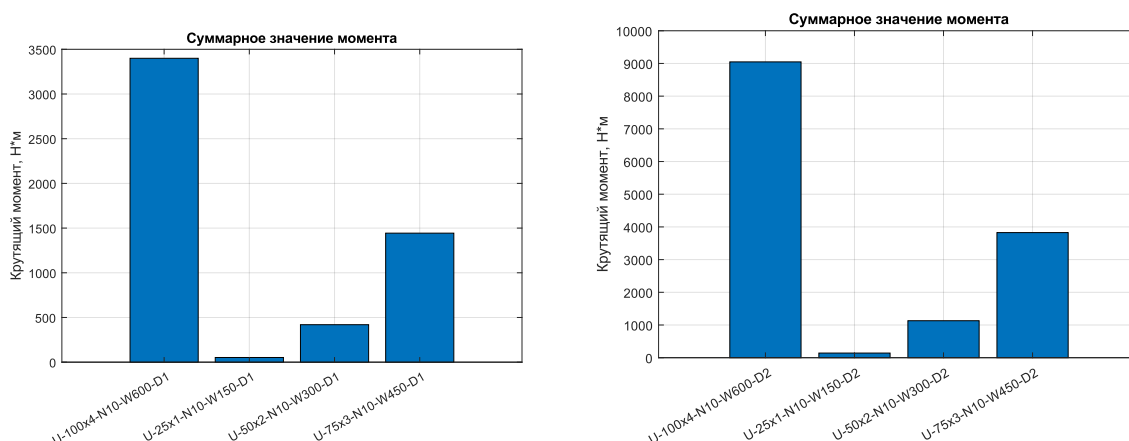
На рис. 9, рис. 10 приведены суммарные значения крутящего момента привода. Из показанных на рисунках гистограмм чётко прослеживается закономерность, что в случае, когда приводными являются оба ролика, суммарный крутящий момент привода примерно в 1.5 – 2 выше, чем в случае, когда привод имеют только нижние ролики.



а) приводные только нижние валы

б) приводные оба вала

Рисунок 9. Суммарное значение приводного момента для формовки за шесть переходов

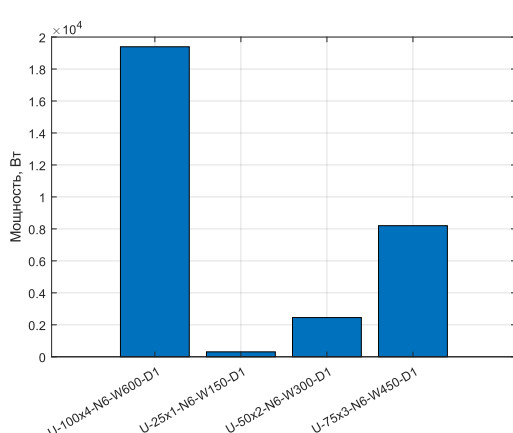


а) приводные только нижние валы

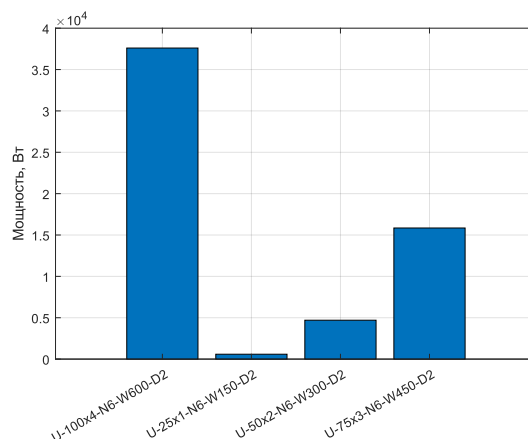
б) приводные оба вала

Рисунок 10. Суммарное значение приводного момента для формовки за десять переходов

На рис. 11, рис. 12 показаны гистограммы величины мощности привода. Если сравнивать гистограммы мощности для случая формовки за 6 и за 10 переходов, то прослеживается та же закономерность, что и в случае суммарного крутящего момента привода, а именно, мощность в случае привода на оба вала в каждой клетке оказывается выше примерно в 1.5 – 2 раза, чем в случае, когда привод имеют только нижние ролики. Если же сравнивать значения мощности для случая формовки за шесть и десять переходов, то оказывается, что в случае, когда привод имеют только нижние ролики, мощность привода на десять клеток оказывается меньше, чем при формовке за шесть клеток. Для случая, когда оба ролика в каждой клетке имеют привод, полная мощность привода для формовки за десять переходов оказывается больше, чем для случая формовки за шесть переходов. Указанные закономерности наблюдаются для всех четырёх типоразмеров рассматриваемых швеллеров.

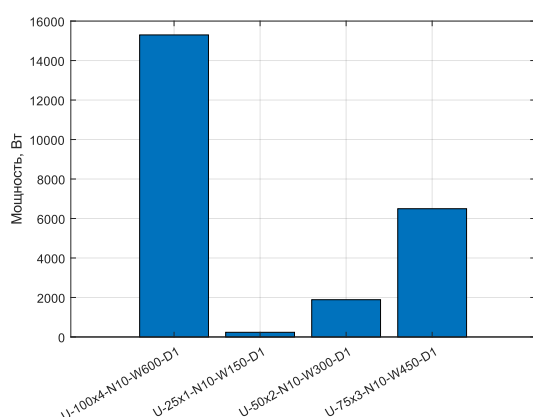


а) приводные только нижние валы

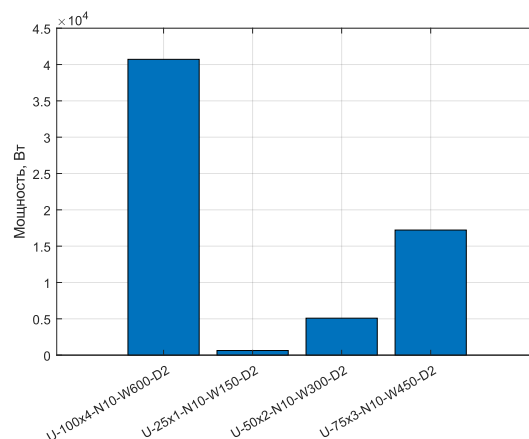


б) приводные оба вала

Рисунок 11. Мощность привода для формовки за шесть переходов



а) приводные только нижние валы



б) приводные оба вала

Рисунок 12. Мощность привода для формовки за десять переходов

Выводы:

1. В результате проведённого исследования установлено, что изменение угла подгибки при формовке швеллеров с подобными размерами происходит идентичным образом, что свидетельствует о наличии закона подобия в процессе профилигибки.
2. При исследовании скорости движения заготовки установлено, что фактическое значение скорости движения заготовки превышает расчётное, определённое на основании катающего диаметра роликов и их угловой скорости, на 0.93% - 1.67% для рассмотренных типоразмеров профиля.
3. В результате исследования энергосиловых параметров процесса формовки рассматриваемых типоразмеров профиля установлено, что в случае, когда все валы профилигибочного стана имеют привод, суммарное значение крутящего момента, равно как и мощности привода увеличиваются примерно в 1.5 – 2 раза по сравнению со случаем, когда привод имеют только нижние валы.

Список литературы

1. Тришевский И.С., Докторов М.Е. Теоретические основы процесса профилирования. М.: Металлургия, 1980. 288 с.
2. Поворов С.В. Расчет размеров профиля листовой заготовки в промежуточных переходах при формовке в роликах по заданным режимам // Заготовительные производства в машиностроении. 2016. № 12. С. 27-32.

УДК 621.98

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ КОРОБЧАТОЙ ДЕТАЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА LS-DYNA

Попов И.П.¹, Николенко К.А.², Казаков А.В.³

1 – д.т.н., проф., «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара

2 – к.т.н., доц., «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара

3 – аспирант, «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара

Аннотация. В докладе представлены результаты компьютерного моделирования процесса листовой штамповки коробчатой детали с использованием программного обеспечения LS-DYNA. Были выявлены сложности, возникающие при изготовлении этого изделия с помощью выбранной технологии, а также рассмотрена возможность применения системы автоматизированного проектирования для проверки технологического процесса штамповки листового материала.

Ключевые слова: моделирование, листовая штамповка, LS-DYNA, FLD.

MODELING OF THE STAMPING PROCESS OF A BOX PART USING THE LS-DYNA SOFTWARE PRODUCT

Popov I.P.¹, Nikolenko K.A.², Kazakov A.V.³

1 – Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara

2 – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara

3 – Postgraduate student, Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara

Abstract. The report presents the results of computer simulation of the process of sheet stamping of a box part using LS-DYNA software. The difficulties encountered in the manufacture of this product using the chosen technology were identified, and the possibility of using an automated design system to verify the technological process of stamping sheet material was considered.

Keywords: modeling, sheet stamping, LS-DYNA, FLD.

В настоящее время развитие отрасли обработки металлов давлением имеет большое значение для промышленности. В современных экономических условиях важно производить высококачественную и конкурентоспособную продукцию. Листовая штамповка, широко используемая технология ОМД, играет особую роль.

В работе представлены результаты моделирования в программном комплексе LS-DYNA детали сложной коробчатой формы. Цель выполняемых исследований – создание и отработка устойчивой технологии формообразования детали «Коробочка» (см. рисунок 1), исключающей образование брака готовой детали. Задачи, стоящие перед проводимыми исследованиями: анализ видов брака при изготовлении детали; моделирование процесса формообразования детали, анализ результатов

Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России
моделирования и определение причин образования брака; разработка мероприятий по устранению брака при формообразовании детали.

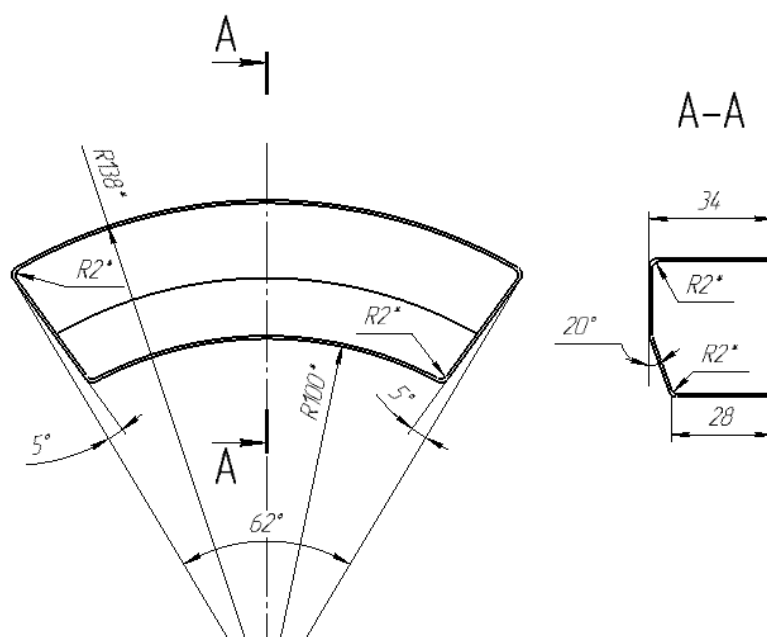


Рисунок 1. Эскиз детали

Параметры процесса.

В соответствии с базовой технологией, деталь штампуется за один перехода с постепенным формообразованием контура готовой детали. На практике данная технология может привести к разрыву заготовки в радиусной части и гофрообразованию на фланце.

Анализ технологии формообразования коробочки и ее сравнение с существующими методиками проектирования процессов формообразования прямоугольных коробок [1,2] показывает, что основная ошибка существующей технологии заключается в превышении допустимой степени вытяжки за переход. Процесс формообразования таких деталей, с относительной высотой H/B и толщиной S/B 100 – многпереходный. Таким образом, предлагается процесс формообразования детали осуществлять за три перехода. Первый переход – вытяжка полого полуфабриката из плоской заготовки. Второй переход – формообразование полуфабриката с перераспределением металла на внешнем радиусегиба. Третий переход – окончательная вытяжка детали сложной коробчатой формы.

Геометрия заготовки и оснастки для трех переходов формообразования представлена на рисунке 2. Геометрии построена с применением тяжелой CAD/CAM/CAE системы SIEMENS NX.

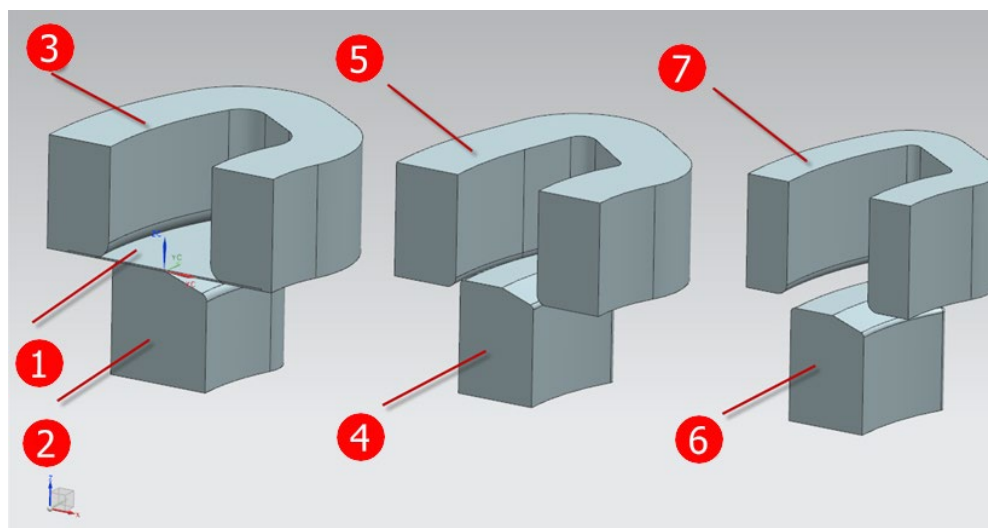
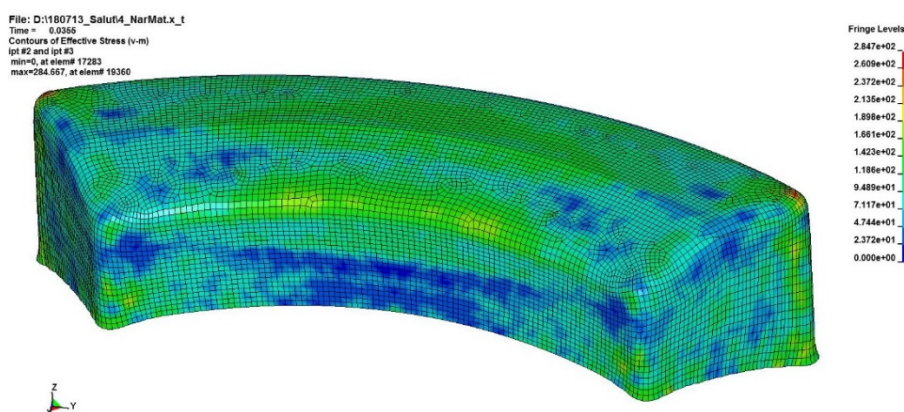


Рисунок 2. 3D модель элементов штамповой оснастки.

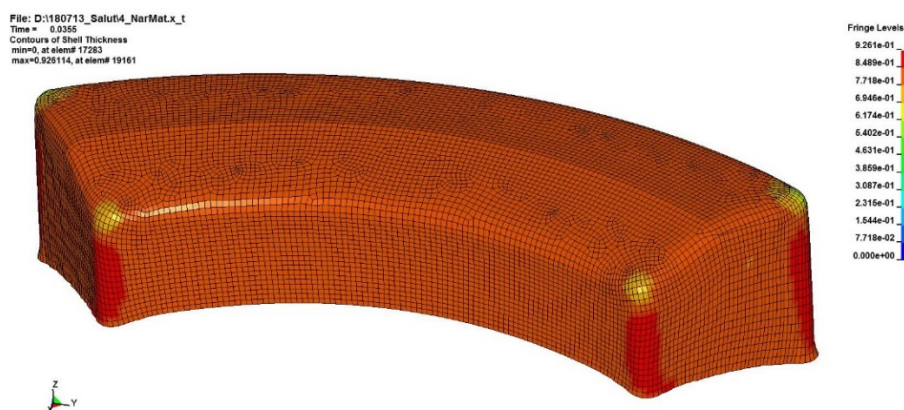
1 – заготовка; 2 – пуансон первого перехода; 3 – матрица первого перехода; 4 – пуансон второго перехода; 5 – матрица второго перехода; 6 – пуансон третьего перехода; 7 – матрица третьего перехода.

Результаты моделирования

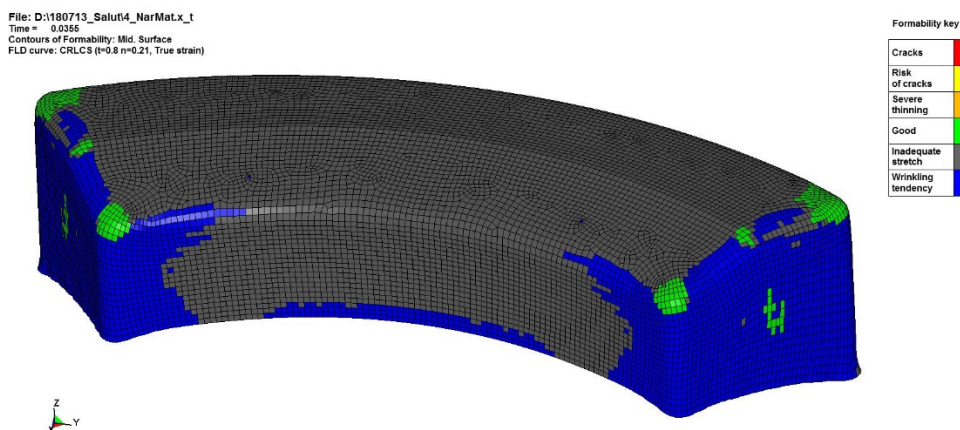
На рисунке 3 представлены эпюры интенсивности напряжений, изменения толщины и поле FLD на заключительной стадии процесса формообразования.



Поле распределения интенсивности напряжений



Поле изменения толщины



Поле FLD

Рисунок 3. Результаты моделирования

Исходя из полученных результатов моделирования можно дать следующие рекомендации - исследуемую коробчатую деталь можно штамповать по предложенной технологии за три перехода.

Вывод

В процессе работы выполнено моделирование процесса формообразования детали из листа. В результате исследования установлены причины брака, а именно: завышенная степень вытяжки. Предложено ввести в технологический процесс дополнительные переходы штамповки.

Программный комплекс LS-DYNA позволил значительно упростить ход данного исследования. Результаты моделирования процесса вытяжки позволяют существенно снизить объем экспериментальных исследований и подобрать наиболее рациональную геометрию инструмента, размеры заготовки и количество переходов штамповки для изготовления качественных деталей.

Список литературы

1. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка [Текст] / Под общ. редакцией Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.: ил.
2. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке [Текст] / В.П. Романовский. - Л.: Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1979. – 520 с., ил.
3. Мальцев, М.В. Металлография промышленных цветных сплавов [Текст] / М.В. Мальцев. - М.: Металлургия, 1970. – 364с.
4. Колачев, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов [Текст] / Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, В.И.Елагин. - М.: Металлургия, 1981. – 416с.

Секция 3

«Подготовка производства»

УДК 621.7.01

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ БЕСПЛАЗОВОЙ УВЯЗКИ ОСНАСТКИ КОНСОЛИ КРЫЛА ЛЕГКОГО САМОЛЕТА

Астапов В.Ю.¹, Рябов А.Н.²

1 - кандидат технических наук, доцент, Московский Авиационный Институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия.

2 - студент, Московский Авиационный Институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

Аннотация. В работе рассматривается вопрос разработки схем увязки технологической и сборочной оснастки методом бесплазовой увязки для изготовления деталей и сборки консоли крыла легкого самолета. Методы бесплазовой увязки в настоящее время широко используются в самолетостроительном производстве, так как современные автоматизированные системы проектирования и станки с ЧПУ позволяют изготавливать и увязывать с достаточно высокой точностью заготовительно-штамповочную и сборочную оснастку, а также элементы конструкции самолета. Сущность бесплазового метода изготовления и метода бесплазовой увязки заготовительной и сборочной оснастки заключается в том, что с помощью системы исходных числовых данных о геометрических формах и размерах обводов изделия, рассчитанных на ЭВМ, выдерживаются заданные допуски при расчетах, вычерчивании плазовых линий

Ключевые слова: бесплазовая увязка, технологическая оснастка, консоль крыла, технологический процесс, независимое изготовление деталей.

DEVELOPMENT OF A SCHEME FOR LINKING THE EQUIPMENT OF THE WING CONSOLE OF A LIGHT AIRCRAFT

Astapov V.Yu.¹, Ryabov A.N.²

1 – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

2 – student, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia.

Abstract. The article presents the results of the development of schemes for linking technological and assembly equipment using the seamless coupling method for manufacturing parts and assembling the wing console of a light aircraft.. Seamless linking methods are currently widely used in aircraft manufacturing, as modern automated design systems and CNC machines allow manufacturing and linking with sufficiently high accuracy blank-stamping and assembly tooling, as well as aircraft structural elements. The essence of the plazeless manufacturing method and the method of plazeless linking of procurement and assembly equipment lies in the fact that with the help of a system of initial numerical data on the geometric shapes and sizes of product contours calculated on a computer, the specified tolerances are maintained during calculations, drawing of plaz lines.

Keywords: seamless coupling, technological equipment, wing console, technological process, independent manufacturing of parts.

Крыло в авиационной технике — несущая поверхность, предназначенная для создания аэродинамической подъёмной силы. Крыло нашей конструкции двухлонжеронное – имеет пояса лонжеронов большой площади поперечного сечения и тонкую обшивку [1]. Конструкция - бесстрингерная, изгибающий момент воспринимается лонжероном.

Обшивка же воспринимает практически только крутящий момент. Консоль крыла состоит из обшивки, поперечного набора – нервюр и продольного набора – лонжероны.

Вначале проводится конструктивно-технологический анализ основных элементов отъемной части на базе членения основного узла, таких как лонжерон, нервюры, обшивка узлы навески крепления и т.д.

Лонжерон – это основной силовой элемент продольного набора крыла. В нашей конструкции используются балочные монолитные лонжероны [2]. Балочные лонжероны имеют пояса и связывающую их стенку. Пояса лонжеронов воспринимают часть изгибающего момента крыла, работая при этом на растяжение и сжатие. Стенки балочных лонжеронов воспринимают поперечную силу и участвуют в восприятии крутящего момента крыла, образуя вместе с обшивкой замкнутый контур крыла. Кроме того, стенка лонжерона работает на сжатие при искривлении крыла под действием изгибающего момента.

Передний и задний лонжерон имеют пояса с закрытой малкой, в следствии чего, для из изготовления используются разборные матрицы.

Нервюра – поперечный элемент силового набора крыла летательного аппарата. Она создаёт и сохраняет контур сечения, в частности препятствует сближению верхних и нижних панелей при изгибе, подвергаясь при этом сжатию, перераспределяет нагрузку между элементами продольного силового набора, воспринимает воздушную нагрузку с обшивки, силы внутреннего давления в баковых отсеках, сосредоточенные усилия с узлов крепления органов управления. В нервюрах проделаны отверстия для уменьшения веса конструкции и для возможности прокладки внутренних систем.

Обшивка образует поверхность крыла, придает ему обтекаемую форму, непосредственно воспринимает аэродинамическую нагрузку и передает ее на силовые элементы каркаса крыла, работая при этом на поперечный изгиб [2].

В нашем случае обшивка изготовлена из наружных слоев на основе углеткани и внутреннего слоя из пенопластового заполнителя. Обшивка состоит из верхней, нижней панелей и носовых частей.

Передний узел навески. Лонжеронное крыло соединяется с фюзеляжем по лонжеронам, на которых устанавливают кронштейны навески консоли крыла к фюзеляжу (моментные узлы), передающие усилия от изгибающего момента и поперечной силы. Передний узел навески разделен на два кронштейна, которые размещены по внешней и внутренней поверхности переднего лонжерона. Задний узел навески. Лонжеронное крыло соединяется с фюзеляжем по лонжеронам, на которых устанавливают кронштейны навески консоли крыла к фюзеляжу (моментные узлы), передающие усилия от изгибающего момента и поперечной силы. Кронштейн навески механизации, предназначенный для навески механизации задней кромки крыла, установлен на заднем лонжероне

консоли крыла. Все указанные элементы изготавливаются из алюминиевых сплавов операциями фрезерования, точения и сверления на оборудовании с ЧПУ [5,6], поэтому для упрощения в основную схему мы их не будем включать.

Методы бесплазовой увязки в настоящее время широко используются в самолетостроительном производстве, так как современные автоматизированные системы проектирования и станки с ЧПУ позволяют изготавливать и увязывать с достаточно высокой точностью заготовительно-штамповочную и сборочную оснастку, а также элементы конструкции самолета [7].

Бесплазовая увязка – процесс согласования размеров, форм, заданного положения элементов конструкции, а также средств технологического оснащения на стадии проектирования, подготовки производства и изготовления без применения плазов (физических носителей форм и размеров).

Сущность бесплазового метода изготовления и метода бесплазовой увязки заготовительной и сборочной оснастки заключается в том, что с помощью системы исходных числовых данных о геометрических формах и размерах обводов изделия, рассчитанных на ЭВМ, выдерживаются заданные допуски при расчетах, вычерчивании плазовых линий, изготовлении контуров оснастки и механообрабатываемых изделий [8,9].

Рассмотрим схемы бесплазовой увязки размеров и форм при изготовлении отдельных деталей и сборке консоли крыла легкого самолета. Исходными данными при увязке оснастки лонжерона выступает геометрическая модель поверхности (ГМП). При использовании технологии WAVE создается электронная модель агрегата (ЭМА) – консоль крыла. В составе ЭМА консоли крыла находится электронная модель детали (ЭМД) – лонжерон. Используя её, мы получаем технологические электронные модели (ТЭМ) раскроя углеродной ткани. Схема бесплазовой увязки оснастки лонжерона крыла представлена на рисунке 1. По раскрою (ТЭМ 1) в плоттере ЧПУ нарезаем слои ткани, которые укладываем в оснастку, изготовленную по (ЭМ). Заполняем межслоевое пространство связующим и отправляем заготовку 2 в сушильный шкаф. Полученную заготовку 3 отправляем на фрезерный станок, который получил необходимые для обрезки контура и отверстий данные с (ЭМД), и получаем конечную деталь - лонжерон.

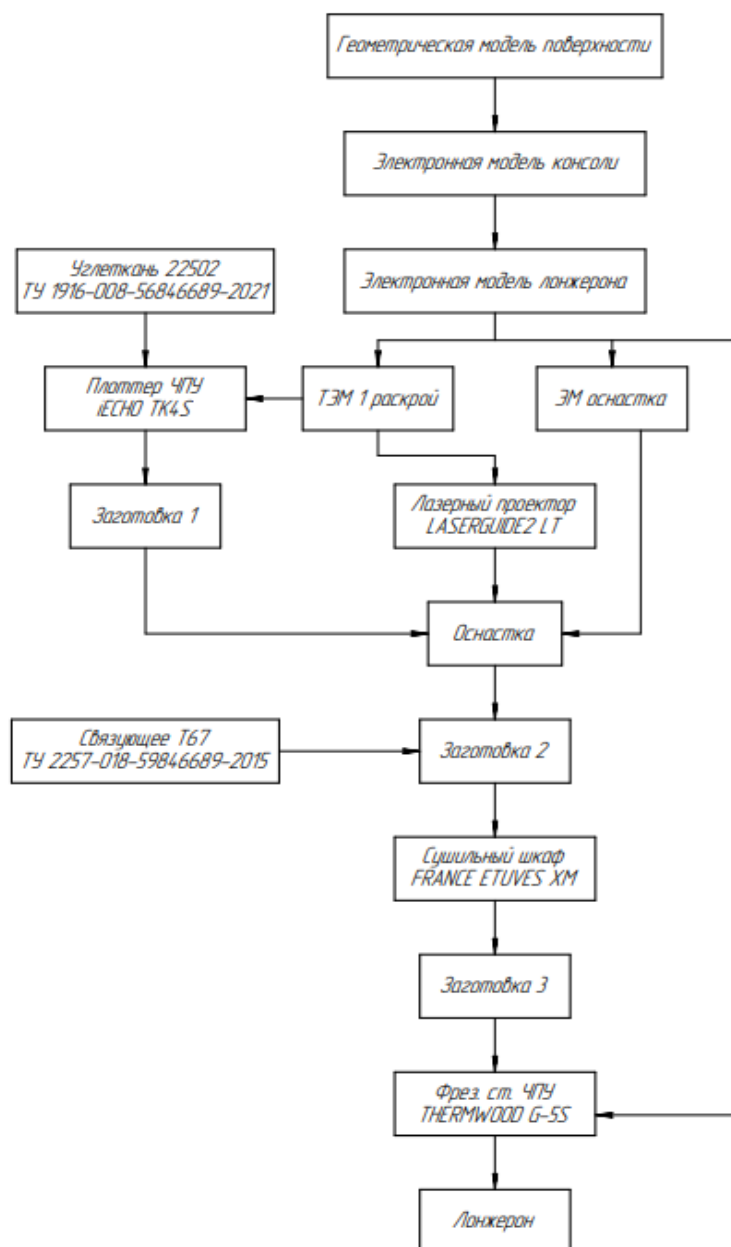


Рисунок 1 – Схема бесплазовой увязки лонжерона

Исходными данными при увязке размеров и форм нервюры выступает геометрическая модель поверхности (ГМП). Схема бесплазовой увязки нервюры представлена на рисунке 2. При использовании технологии WAVE создается электронная модель агрегата (ЭМА) – консоль крыла. В составе ЭМА консоли крыла находится электронная модель детали (ЭМД) – нервюра. Используя её, мы получаем технологические электронные модели (ТЭМ) раскроя препрега. По раскрою (ТЭМ 1) в плоттере ЧПУ нарезаем слои препрега, которые укладываем в матрицу, изготовленную по (ЭМ). Отправляем заготовку 2 в сушильный шкаф. Полученную заготовку 3 отправляем на фрезерный станок, который получил необходимые для обрезки контура и отверстий данные с (ЭМД), и получаем конечную деталь. Исходными данными при увязке панели обшивки выступает геометрическая

модель поверхности (ГМП). При использовании технологии WAVE создается электронная модель агрегата (ЭМА) – консоль крыла.

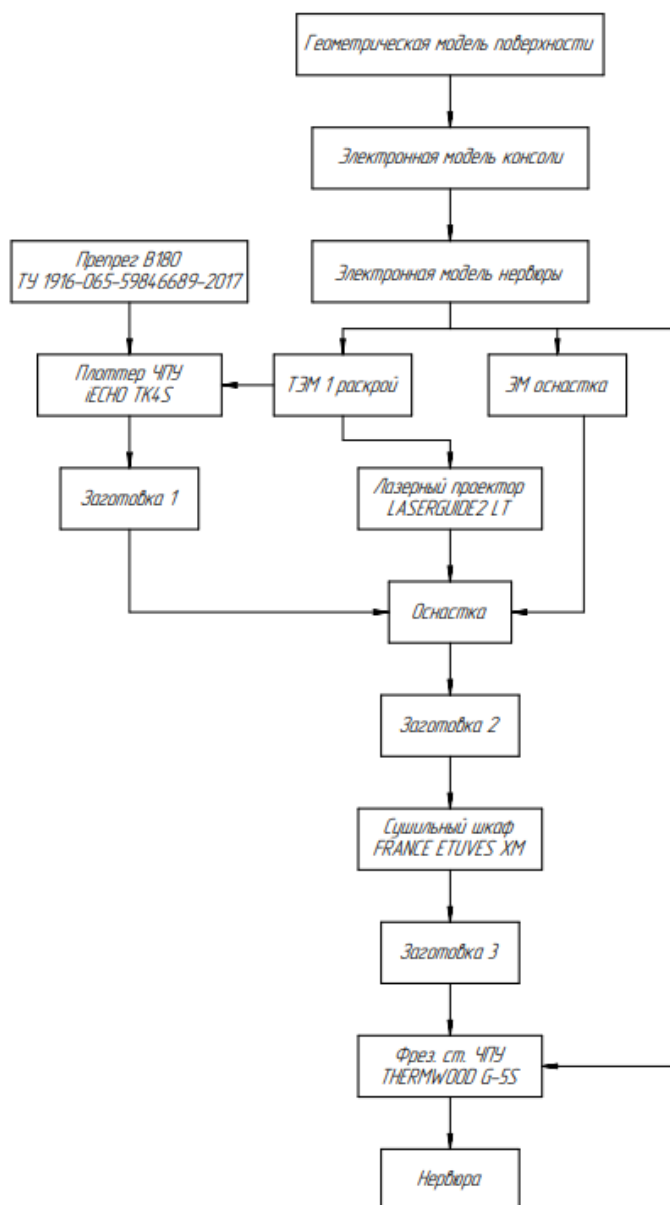


Рисунок 2 – Схема бесплазовой увязки оснастки нервюры

В составе ЭМА консоли крыла находится электронная модель детали (ЭМД) – панель обшивки. Используя её, мы получаем технологические электронные модели (ТЭМ) раскроя углеродной ткани и развертки пенопластового наполнителя. Схема бесплазовой увязки панели обшивки представлена на рисунке 3.

По раскрою (ТЭМ 1) в плоттере ЧПУ нарезаем слои ткани, а по развертке (ТЭМ 2) при помощи фрезерного станка изготавливаем наполнитель необходимой формы, которые укладываем в матрицу, изготовленную по (ЭМ). Заполняем межслоевое пространство связующим и отправляем заготовку 3 в сушильный шкаф. Полученную заготовку 4

отправляем на фрезерный станок, который получил необходимые для обрезки контура и отверстий данные с (ЭМД), и получаем конечную деталь – обшивку.

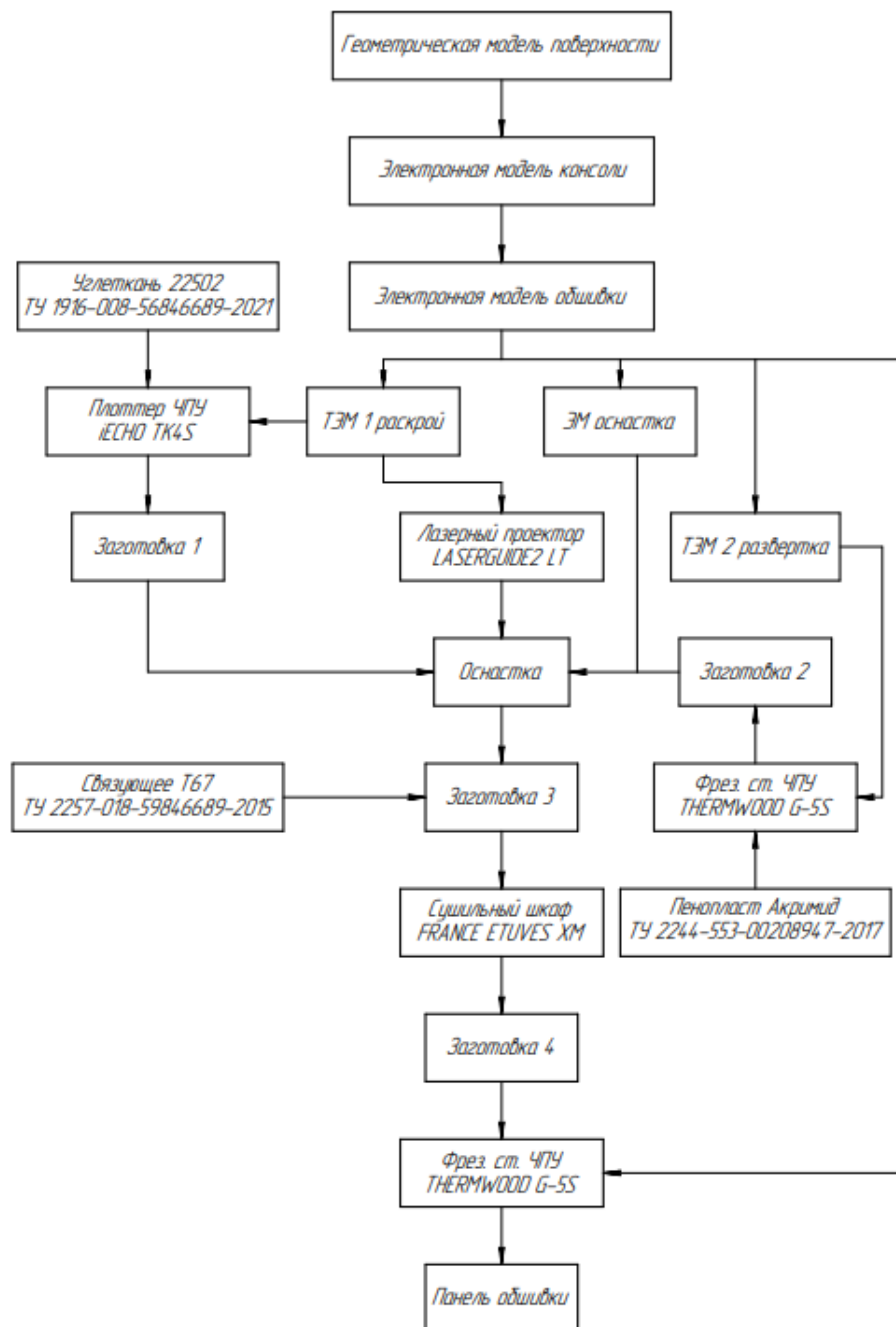


Рисунок 3 – Схема бесплазовой увязки оснастки панели обшивки

Затем схемы изготовления каждой из деталей консоли крыла и элементов крепления ОЧК к центроплану объединяем с учетом технологии изготовления сборочного приспособления в общую схему увязки технологической и сборочной оснастки при изготовлении консоли крыла.

Список литературы

1. Житомирский, Г. И. Конструкция самолетов / Г. И. Житомирский. – Москва: Инновационное машиностроение, 2018. – 414 с.
2. Конструкция и прочность самолета. Крыло. Учебное пособие/ В.В. Ефимов, М.Г. Ефимова, К.О. Чернигин. – Москва: ИД Академии Жуковского, 2018 г.
3. ГОСТ 4543-2016.Metalлопродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия. Взамен ГОСТ 4543—71: дата введения 2017 - 01 - 13. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 53 с.
4. ГОСТ 58062-2018. Ткани на основе углеродных волокон. Технические требования и методы испытаний: дата введения 2018 – 01 – 30. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 7 с.
5. ГОСТ 4784-2019. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки. Взамен ГОСТ 4784-97: дата введения 2019 - 09 - 01. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 35 с.
6. ГОСТ 17232-99. Плиты из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. Взамен ГОСТ 17232-79: дата введения 2000 - 09 - 01. – Минск: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 15 с.
7. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов / Пекарш А.И., Тарасов Ю.М., Кривов Г.А. и др. М.: Аграф-пресс, 2006. - 304 с, ил. ISBN 5-85597-082-5
8. ГОСТ Р Система увязки геометрических параметров и обеспечение взаимозаменяемости узлов и агрегатов летательных аппаратов ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ, Москва, Стандартинформ, 2020
9. Подрез Н.В., Божеева Т.В. Выбор метода увязки изделий авиационной техники в современных производственных условиях. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. №3 (55), 2017.

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УВЯЗКИ ОСНАСТКИ ДЛЯ ХВОСТОВОГО ОПЕРЕНИЯ ЛЕГКОГО САМОЛЁТА

Астапов В.Ю.¹, Серова Д.И.²

1 - кандидат технических наук, доцент, Московский Авиационный Институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия.

2 - студент, Московский Авиационный Институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

Аннотация. В работе рассматривается вопрос применения и развития автоматизированных систем проектирования и оборудования с ЧПУ, связанный со всё более широким применением метода бесплазовой увязки технологической оснастки при изготовлении деталей и сборке хвостового оперения легкого самолета. Изложена общая информация о бесплазовой увязке и разработаны схемы увязки размеров и форм для каждой типовой детали. Увязка размеров при использовании метода бесплазовой оснастки осуществляется с помощью математической модели аэродинамической поверхности, полученной расчетным путем.

Ключевые слова: бесплазовая увязка, технологическая оснастка, хвостовое оперение, технологический процесс, независимое изготовление деталей.

DEVELOPMENT OF A SCHEME FOR LINKING EQUIPMENT FOR THE TAIL OF A LIGHT AIRCRAFT

Astapov V.Yu.¹, Serova D.I.²

1 – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

2 – student, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia.

Abstract. The paper considers the issue of the application and development of automated design systems and CNC equipment related to the use of the method of seamless linking of technological equipment in the manufacture of parts and assembly of the tail of a light aircraft. The general information on non-slip coupling is presented and schemes for linking sizes and shapes for each standard part are developed. The alignment of dimensions using the plazeless tooling method is carried out using a mathematical model of the aerodynamic surface obtained by calculation.

Keywords: seamless coupling, technological equipment, tail unit, technological process, independent manufacturing of parts.

В связи с широким применением и развитием автоматизированных систем проектирования и оборудования с ЧПУ свое применение нашел метод бесплазовой увязки (МБУ) [1,2]. Увязка размеров при использовании МБУ осуществляется с помощью математической модели аэродинамической поверхности, полученной расчетным путем. Образование взаимосвязанных рабочих контуров технологической оснастки

Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России

обеспечивается точным изготовлением её на станках с ЧПУ. МБУ позволяет с высокой точностью увязывать формозадающую и сборочную оснастку, элементы конструкции агрегата, так как точность увязки сопрягаемых элементов в данном случае напрямую зависит от точности их изготовления. Изготовление технологической оснастки и её элементов непосредственно на станках с ЧПУ существенно сокращает номенклатуру увязочной оснастки.

Таким образом, основой для МБУ является принцип независимого изготовления деталей, который использовался и до появления бесплазовой увязки, но редко применялся из-за высокого поля погрешности. Благодаря независимому образованию форм и размеров выполнение работ по производству деталей осуществляется параллельно.

Благодаря применению универсальных средств с ЧПУ МБУ оснастки позволяет [3]:

1. сократить в несколько раз цикл и трудоемкость изготовления элементов некоторых видов технологической оснастки, связанной с обводами;
2. избегать изготовления при запуске изделия большого числа специальных средств увязки;
3. повысить точность изготовления и увязки оснастки;
4. создать предпосылки для унификации технологических процессов изготовления оснастки;
5. создать в сфере подготовки производства систему расчета и записи управляющих программ для всего оборудования с ЧПУ.

Хвостовое оперение выполнено V-образного типа и состоит из лонжерона, нервюр, состоящих из собственно нервюры и носка, стенки задней, панелей, обшивок и крепежных кронштейнов.

В качестве исходных данных при производстве агрегатов планера самолета используют электронную модель. ЭМ агрегата представляет собой сборку, состоящую из ЭМ деталей. ЭМ детали является основой для создания технологических ЭМ (ТЭМ) по которым создаются заготовки для деталей и оснастка для их изготовления.

Далее разрабатываются и рассматриваются схемы увязки размеров отдельных деталей, входящих в конструкцию хвостового оперения: лонжерона, нервюр, носков нервюр, задней стенки, панелей обшивки.

Рассмотрим, к примеру, схему увязки оснастки для изготовления лонжерона оперения. Мы имеем электронный макет лонжерона, представленный на рисунке 1. На основе ЭМ лонжерона проектируются ТЭМ 1, содержащая в себе границы разверток слоев детали, и ТЭМ 2, являющаяся

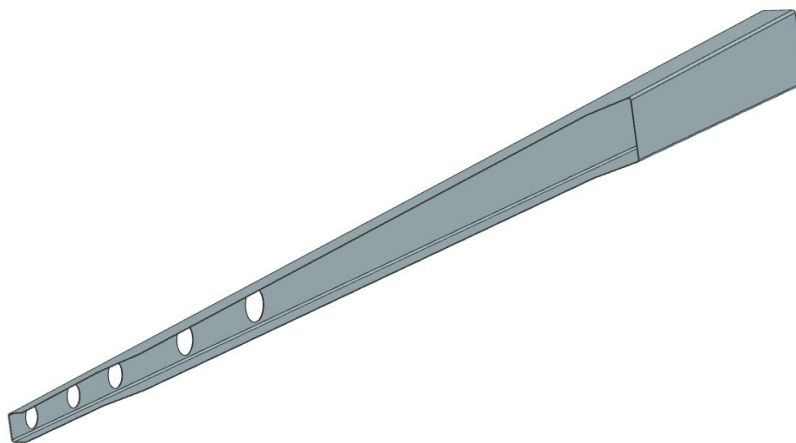


Рисунок 1. 3D модель лонжерона

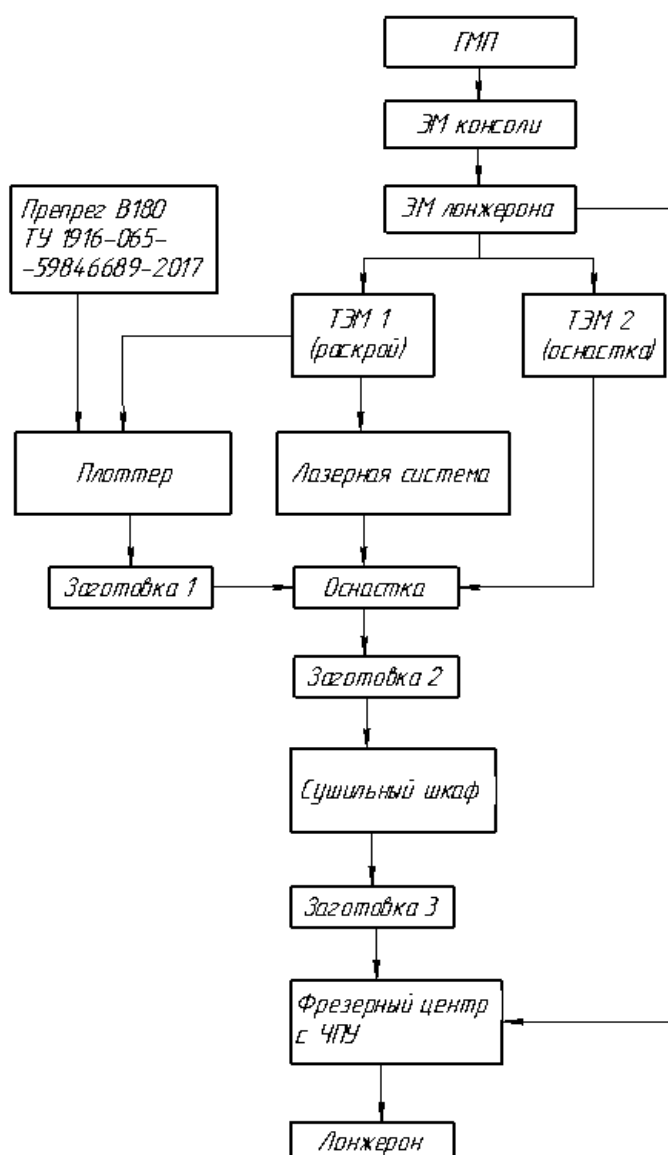


Рисунок 2. Схема бесплазовой увязки оснастки лонжерона
ЭМ оснастки. По ней изготавливается оснастка. Схема бесплазовой увязки оснастки лонжерона представлена на рисунке 2. На плоттере из

рулона препрега вырезаются развертки слоев, обозначенные на схеме бесплазовой увязки как заготовка 1, которые затем укладываются в оснастку, образуя преформу, обозначенную на схеме как заготовка 2. Затем полученная преформа проходит процесс термокомпрессионного формования, после чего полученная заготовка 3 обрезается на фрезерном станке с ЧПУ [4]. Аналогична схема увязки оснастки и для изготовления стенки. Теперь рассмотрим схему увязки оснастки для изготовления нервюры.

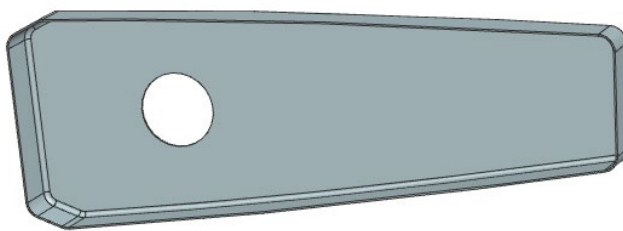


Рисунок 3. Типовая нервюра

Опять же, мы имеем электронную модель нервюры. (рисунок 3). На основе ЭМ нервюры проектируются ТЭМ 1, содержащая в себе границы разверток слоев детали, и ТЭМ 2, являющаяся ЭМ оснастки.

По ней изготавливается оснастка. На плоттере из рулона препрега вырезаются развертки слоев, обозначенные на схеме бесплазовой увязки как заготовка 1 (рисунок 4), которые затем укладываются в оснастку, образуя преформу, обозначенную на схеме как заготовка 2. Затем полученная преформа проходит процесс термокомпрессионного формования, после чего полученная заготовка 3 (обозначена как заг. 3 на схеме) обрезается на фрезерном станке с ЧПУ.

ЭМ носка нервюры представлена на рисунке 5. На основе ЭМ носка нервюры проектируются ТЭМ 1, содержащая в себе границы разверток слоев детали, и ТЭМ 2, являющаяся ЭМ оснастки. По ней изготавливается оснастка. На плоттере из рулона препрега вырезаются развертки слоев, обозначенные на схеме бесплазовой увязки на рисунке как заготовка 1, которые затем укладываются в оснастку, образуя преформу, обозначенную на схеме как заготовка 2. Затем полученная преформа проходит процесс термокомпрессионного формования, после чего полученная заготовка обрезается на фрезерном станке с ЧПУ. Схема увязки оснастки для изготовления носка нервюры аналогична представленной на рисунке 4.

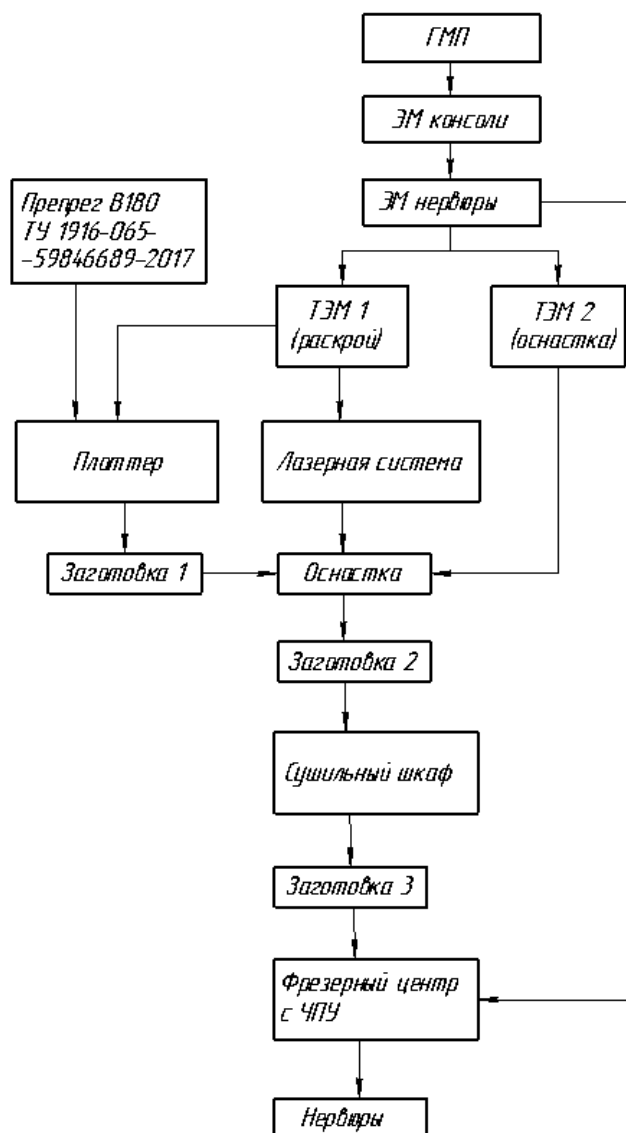


Рисунок 4. Бесплазовая увязка оснастки нервюры

Далее схемы увязки размеров всех отдельных деталей объединяются в общую схему увязки размеров сборки узлов с применением сборочного приспособления и получается схема увязки хвостового оперения в целом [5].

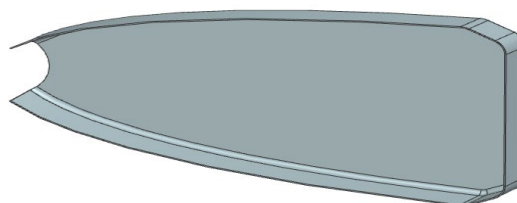


Рисунок 5. Типовой носок нервюры

Исходя из проведенной оценки точности сборки можно сделать вывод, что разработанные схемы бесплазовой увязки технологической оснастки и выбранный метод сборки и базирования деталей является весьма удовлетворительным по отношению к требованиям по точности обвода поверхности.

Список литературы

1. Житомирский Г.И. Конструкция самолетов: учебник для студентов вузов. 6-е изд., испр. – М.: Инновационное машиностроение, 2021. – 416 с.:ил.
2. Лазорин А. Е., Дегтярев А. А., Поликарпов А. А. Численное исследование прочностных характеристик V-образного оперения беспилотного летательного аппарата на основе композиционных материалов // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2020. № 3. С. 54–61.
3. А.И. Пекарш, Ю.М. Тарасов, Г.А. Кривое. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов/ А.И. Пекарш, Ю.М. Тарасов, Г.А. Кривое, А.Г. Громашев, В.А. Матвиенко, Г.В. Грубич, В.Н. Быченко, Б.Н. Марьин, Ю.А. Воробьев, В.Ф. Кузьмин, В.А. Резников и др. Москва: Аграф-пресс, 2006. – 304с.
4. Ю.Л. Вашуков. Особенности сборки деталей из композиционных материалов в конструкциях летательных аппаратов: учеб. пособие / Ю.А. Вашуков. – Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та, 2007. – 68 с. : ил.
5. Абибов. А.Л. Технология самолетостроения: учебник для авиационных вузов/ А.Л. Абибов, Н.М. Бирюков, В.В. Бойцов и др. Под редакцией А.Л.Абибова. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Альянс, 2018. – 522 с., ил.

ОПТИМАЛЬНЫЙ РАСКРОЙ ЛИСТОВЫХ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дмитриенко Г.В.¹, Марковцева В.В.²

1 – Профессор кафедры Самолетостроение УлГТУ ИАТУ, г. Ульяновск

2 – Начальник НИО-110 АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск

Аннотация: в статье изложены требования для оптимального раскроя листовых полимерных композиционных материалов, проведен анализ по уменьшению отходов ПКМ при раскрое.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, раскрой листового материала, дефекты.

OPTIMAL CUTTING OF SHEET FIBRE POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Dmitrienko G.V.¹, Markovtseva V.V.²

1 – Professor of the Department of Aircraft Engineering, UlGTU IATU, Ulyanovsk.

2 – Head of the Technology Department PC Ulyanovsk Research Institute of Aviation Technology and Production Organization, Ulyanovsk.

Abstract: in the article the requirements for optimal cutting of sheet polymer composite materials are stated, the analysis of PCM waste reduction at cutting is carried out.

Keywords: polymer composite materials, sheet material cutting, material utilization rate, defects.

Раскрой листовых материалов, включая полимерные композиты, является важной задачей при производстве различных изделий. Основная цель этого процесса – минимизировать отходы и максимально эффективно использовать исходный материал. Для решения таких задач применяются различные методы оптимизации, такие как метод динамического программирования, генетические алгоритмы и другие.

Основные термины и определения

Полимерные композиционные материалы представляют собой комбинацию двух или более компонентов, каждый из которых обладает своими уникальными свойствами. Например, углепластик состоит из углеродных волокон, погруженных в матрицу из эпоксидной смолы.

Раскрой – процесс разделения листа материала на части заданной формы и размера таким образом, чтобы минимизировать количество отходов.

При изготовлении сложных конструкций из ПКМ (полимерные композиционные материалы) возникают трудности, т.к. изготовление конструкции и самого материала производится за один технологический процесс – одновременно. Поэтому при изготовлении конструкции из ПКМ имеется большое количество технологических отходов и могут возникать различные дефекты, особенно при изготовлении конструкций, не имеющих плоскостных частей. Чем сложнее пространственная конструкция из ПКМ

(наличие множества не линейных форм), тем больше возникает дефектов и отходов на этапе производства. Для устранения дефектов и уменьшение отходов предлагается осуществить оптимальный раскрой тканых материалов, с использованием оборудования работающего с цифровыми технологиями. При решении такой задачи, необходимо учитывать следующие принципы:

1. **Минимизация отходов:** Для достижения этой цели необходимо учитывать форму деталей и их расположение на листе материала таким образом, чтобы минимизировать количество неиспользуемой площади листа.

2. **Учет ориентации волокон:** В волокнистых композитах волокна обычно ориентированы определенным образом для обеспечения максимальной прочности изделия. При раскрое важно учитывать направление волокон, чтобы обеспечить требуемые механические свойства готового изделия.

3. **Снижение количества резов:** Чем меньше разрезов требуется сделать, тем более эффективным будет процесс раскроя. Это также помогает снизить затраты на обработку и уменьшить вероятность повреждения материала.

4. **Использование программных средств:** Современные системы автоматизированного проектирования (CAD) и компьютеризированные станки позволяют оптимизировать процесс раскроя, учитывая все вышеперечисленные факторы.

5. **Оплавления краев в процессе реза:** для обеспечения расслоения заготовок ПКМ и избегания попадания влаги во внутрь ПКМ.

Листовой композиционный материал (например, стеклопластик, углепластик и т.д.) раскраивается с использованием специальных инструментов и методов, чтобы обеспечить ровный срез и избежать повреждения структуры материала.

Выбор оптимального метода для конкретной задачи раскроя листового полимерного композиционного материала зависит от множества факторов, таких как сложность геометрии заготовок, требования к точности, наличие ограничений по времени и ресурсам, а также доступность программного обеспечения и оборудования. Рассмотрим ключевые аспекты, которые способствуют определению оптимального метода:

1. Сложность геометрии заготовок

- **Простая геометрия (прямоугольники, квадраты):**
 - **Метод:** Простые геометрические расчеты и ручное размещение.
 - **Преимущества:** Легкость выполнения, низкая вычислительная нагрузка.
- **Средняя сложность (неправильные многоугольники, криволинейные элементы):**
 - **Методы:** Динамическое программирование, эвристики.

- **Преимущества:** Возможность автоматизации, умеренная точность.

- **Высокая сложность (сложные криволинейные формы, нестандартные конфигурации):**

- **Методы:** Генетические алгоритмы, симуляции отжига.

- **Преимущества:** Высокая точность, возможность работы с очень сложными формами.

2. Требования к точности

- **Низкая точность (примерное соответствие размеров):**

- **Методы:** Ручное размещение, простые эвристики.

- **Преимущества:** Быстрота выполнения, простота реализации.

- **Средняя точность (точное соответствие основных размеров):**

- **Методы:** Динамическое программирование, некоторые эвристики.

- **Преимущества:** Умеренное время выполнения, достаточная точность для большинства случаев.

- **Высокая точность (минимум отходов, точное соответствие всех размеров):**

- **Методы:** Генетические алгоритмы, симуляции отжига, линейное программирование.

- **Преимущества:** Максимальная эффективность использования материала, высокая точность.

3. Ограничения по времени и ресурсам

- **Ограничение по времени (быстрое получение решения):**

- **Методы:** Эвристики, упрощенные модели.

- **Преимущества:** Быстрое выполнение, подходит для оперативных задач.

- **Длительное время обработки (поиск наилучшего решения):**

- **Методы:** Генетические алгоритмы, симуляция отжига, динамическое программирование.

- **Преимущества:** Высокое качество решения, минимальное количество отходов.

4. Доступность программного обеспечения и оборудования

- **Стандартное ПО (CAD-системы, специализированные программы для раскроя):**

- **Методы:** Автоматизированные системы раскроя, встроенные алгоритмы.

- **Преимущества:** Удобство использования, интеграция с существующими системами.

- **Специализированное ПО (собственные разработки, научные пакеты):**

- **Методы:** Любые методы, включая сложные алгоритмы оптимизации.

- **Преимущества:** Гибкость настройки, возможность адаптации под конкретные задачи.

5. Практическое применение

В зависимости от специфики задачи, применяют комбинирование разных методов для достижения наилучших результатов. Например, для простой геометрии и низких требований к точности можно использовать ручные методы или простые эвристики. Если же требуется высокая точность и минимальная потеря материала, стоит рассмотреть использование генетических алгоритмов или других сложных методов оптимизации.

Вот основные шаги для раскроя:

1. **Подготовка поверхности:** Очистите поверхность от пыли и грязи, чтобы предотвратить повреждение инструмента при резке.

2. **Разметка:** Используйте маркер или карандаш, чтобы отметить линии реза. Для точности можно использовать линейку или шаблон.

3. Выбор инструмента:

- **Ножовка по металлу:** Подходит для тонких листов. Важно использовать лезвие с мелкими зубьями.

- **Электрический лобзик:** Удобен для более толстых материалов. Подберите пилку с мелкими зубьями и низким числом оборотов.

- **Циркулярная пила:** Используется для больших объемов работы. Понадобится диск с твердосплавными напайками.

- **Алмазный диск:** Применяется для особо твердых композитных материалов.

4. Резка:

- Начинать резать медленно, чтобы не повредить края материала.
- Следовать разметке точно, держа инструмент под прямым углом к поверхности.

- При необходимости использовать охлаждающую жидкость, чтобы снизить нагревание и продлить срок службы инструмента.

5. **Обработка краев:** После резки требуется обработать края наждачной бумагой или шлифовальным кругом, чтобы убрать заусенцы и сделать их гладкими.

6. **Защита от повреждений:** Если материал будет использоваться без покрытия, следует нанести защитное средство на торцы, чтобы предотвратить впитывание влаги и разрушение композита.

Следование этим рекомендациям позволяет осуществить аккуратный раскрой листового композиционного материала и получить качественные заготовки для дальнейшей обработки.

Задача оптимизации раскроя материалов является одной из классических задач комбинаторной математики и логистики. В случае работы с листовыми материалами (например, волокнистыми композитами), важно минимизировать количество отходов при максимальном использовании площади листа.

Шаги решения задачи:

1. **Анализ существующих лекал:**
 - Определение размеров всех необходимых деталей (лекал).
 - Оценка возможных вариантов расположения этих деталей на листе материала.
2. **Выбор метода раскладки:**

Существует несколько методов укладки деталей на листовый материал:

 - **Метод "жадного" алгоритма:** детали укладываются последовательно одна за другой без учета общей оптимальной схемы.
 - **Генетический алгоритм:** используется метод эволюционных вычислений для поиска оптимального размещения.
 - **Алгоритм динамического программирования:** решение задачи через разбиение её на более мелкие подзадачи.
3. **Оценка возможных вариантов:**
 - Проведение симуляции различных схем раскладки, используя выбранный метод.
 - Сравнение результатов по количеству используемой площади листа и уровню отходов.
4. **Оптимизация:**
 - Выбор схемы, которая обеспечивает минимальное количество отходов.
 - Учет ограничений, таких как ориентация деталей, минимальный зазор между ними и т.д.
5. **Автоматизация процесса:**
 - Разработка программного обеспечения или использование существующих инструментов для автоматизации процесса раскройки. Это может быть специализированное ПО для работы с листовым материалом, например, САД-системы с функцией оптимизации раскроя.
6. **Практическая реализация:**
 - Перенос выбранной схемы на реальный процесс производства.
 - Постоянный контроль качества резки и уровня отходов.

Для наглядного понимания проблемы выразим ее через постановку математических задач. Оптимальный раскрой листового волокнистого композиционного материала требует комплексного подхода, включающего использование математических методов и программного обеспечения.

Для оптимального раскроя листового волокнистого композиционного материала по заданным лекалам с минимальными отходами можно воспользоваться различными методами, включая геометрическое моделирование, линейное программирование и эвристики. Рассмотрим основные этапы и подходы к решению этой задачи.

Этапы решения задачи:

1. **Сбор информации о размерах лекал и листах материала:**
 - Размеры всех лекал (деталей), которые необходимо вырезать.

- Размер листа материала.
- 2. **Определение ограничений:**
 - Минимальные зазоры между деталями.
 - Ограничения на ориентацию деталей (если требуется).
- 3. **Разработка стратегии раскроя:**
 - Выбор подходящих алгоритмов для оптимизации раскроя.
- 4. **Реализация выбранного алгоритма:**
 - Написание кода или использование готовых библиотек для выполнения расчетов.
- 5. **Анализ результатов и их улучшение:**
 - Анализ полученных результатов.
 - Поиск возможностей для дальнейшего улучшения.

Основные алгоритмы и методы:

1. Жадный алгоритм (Greedy Algorithm)

Жадный алгоритм предполагает последовательное размещение деталей на листе таким образом, чтобы максимально эффективно использовать доступное пространство. Этот метод не всегда дает оптимальное решение, но он прост в реализации и часто применяется на практике.

Формула для расчета остаточного пространства:

Пусть W – ширина листа, а H – высота листа. Если деталь имеет ширину w_i и высоту h_i , то остаток от размещения детали будет:

$$\text{Остаток} = W - w_i$$

или

$$\text{Остаток} = H - h_i$$

в зависимости от того, как ориентирована деталь.

Формула для оценки эффективности жадного алгоритма:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^N w_i}{L},$$

где:

E – коэффициент использования материала,

$\sum_{i=1}^N w_i$ – общая площадь всех вырезанных деталей,

L – площадь исходного листа материала.

Алгоритм решения:

1. Начальная оценка:
 - Сначала размещают самые большие лекала (А) вдоль длинной стороны листа.
 - Затем размещают средние лекала (В) рядом с большими.
 - Оставшиеся пространства заполняют маленькими лекалами (С).

2. Проверка результата:

- Посчитать общее количество размещенных лекал и площадь отходов.

3. Применение генетического алгоритма для улучшения результата:

- Создание начальной популяции возможных решений.
- Применение мутации и скрещивания для генерации новых решений.
- Отбор лучших решений после каждой итерации.

4. Повторение шагов 2 и 3 до достижения удовлетворительного уровня отходов.

2. Динамическое программирование (Dynamic Programming)

Динамическое программирование подходит для задач, где решение можно разбить на меньшие подзадачи. Оно позволяет находить оптимальное решение путем пошагового анализа возможных вариантов размещения деталей.

Преимущества:

- Обеспечивает точное решение для небольших задач.
- Подходит для задач с ограниченным числом вариантов.

Недостатки:

- Время вычисления экспоненциально возрастает с увеличением числа элементов.
- Может быть неэффективным для больших задач.

3. Эвристические методы

Основная формула рекурсии:

Пусть $F(W, H)$ обозначает максимальную полезность (объем используемых деталей) при ширине W и высоте H . Тогда:

$$F(W, H) = \max_{i=1}^n F(W - w_i, H - h_i) + v_i,$$

где v_i – ценность (размер) i -й детали.

Преимущества:

- Быстрое получение решения.
- Подходит для больших задач.

Недостатки:

- Решение может быть далеко от оптимального.
- Зависит от начальных условий и порядка размещения элементов.

4. Генетические алгоритмы

Преимущества:

- Способны находить хорошие решения для сложных задач.
- Хорошо масштабируются для больших задач.

Недостатки:

- Требуют большого количества итераций для получения хорошего решения.
- Могут застрять в локальном минимуме.

Рассмотрим основные подходы и соответствующие им формулы.

1. Линейное программирование

Линейное программирование позволяет решить задачу раскроя, представив её в виде системы ограничений и целевой функции, которую нужно максимизировать или минимизировать. Предположим, что у нас есть m различных типов деталей (легал), которые нужно вырезать из одного листа размером $W \times H$. Пусть a_{ij} обозначает количество деталей типа j , которое можно вырезать из листа i .

Целевая функция:

$$\max Z = \sum_{j=1}^m c_j x_j$$

Ограничения:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \leq b_i, \quad \text{для } i = 1, \dots, n$$
$$x_j \geq 0 \quad \text{для } j = 1, \dots, m$$

где:

c_j — стоимость или важность детали типа j ,

b_i — ограничение по количеству листов,

x_j — количество деталей типа j , которое нужно вырезать.

2. Эвристика "First Fit Decreasing"

Эта эвристика заключается в сортировке деталей по убыванию их размеров и размещении каждой следующей детали на первом доступном месте на листе.

Алгоритм:

Сортируем детали по убыванию их ширины.

Берем первую деталь и пытаемся разместить её на листе.

Если деталь помещается, продолжаем размещать остальные детали.

Если нет, переходим к следующему листу.

Формула для проверки возможности размещения детали (w_i, h_i) на листе (W, H) :

$$w_i \leq W \text{ и } h_i \leq H$$

Генетический алгоритм имитирует процессы естественного отбора для нахождения оптимального решения. Он работает с популяцией потенциальных решений, применяя операции мутаций и кроссоверов для создания новых поколений решений.

Основные компоненты:

- **Популяция:** набор возможных решений.

- **Фитнес-функция:** функция, оценивающая качество каждого решения.
- **Мутация:** случайное изменение некоторых параметров решения.
- **Кроссовер:** комбинирование двух решений для получения нового.

Генетические алгоритмы имитируют процессы естественного отбора для поиска оптимальных решений сложных задач. В данном случае они могут использоваться для поиска наилучшей компоновки деталей на листе материала.

Основная формула генетического алгоритма включает следующие этапы: инициализация популяции возможных решений, оценка пригодности каждого решения, выбор лучших решений для размножения, применение мутаций и кроссоверов для создания новых поколений.

Математическая модель генетического алгоритма

Пусть N - количество деталей, а $L \times W$ - размеры листа материала. Тогда каждая деталь i имеет свои размеры $l_i \times w_i$.

Кодирование хромосомы: Хромосома может представлять собой вектор длины $2N$, где первые N элементов соответствуют координатам x центров деталей, а вторые N элементам - координаты y . Также можно добавить дополнительные параметры для учета поворотов деталей.

Фитнес-функция: Минимизируемая функция может выглядеть следующим образом:

$$F = L \cdot W + \sum_{i=1}^N \text{penalty}(i)$$

где $\text{penalty}(i)$ - штраф за перекрытие деталей или выход за пределы листа.

Штрафная функция:

$$\text{penalty}(i) = \begin{cases} 0 & \text{if_no_overlap_or_out_of_bounds} \\ C_1 \cdot \text{area_overlap}(i, j) & \text{for_each_pair_of_overlapping_details} \\ C_2 \cdot \text{area_out_of_bounds}(i) & \text{for_detail_out_of_bounds} \end{cases}$$

где C_1 и C_2 - коэффициенты штрафа, а area_overlap и $\text{area_out_of_bounds}$ - площади перекрытия и выхода за границы соответственно.

Для более сложного случая раскроя, пользуются формулой для вычисления приспособленности:

$$\text{fitness} = \frac{\text{суммарная площадь вырезанных деталей}}{\text{площадь листа}}$$

Эти методы помогут вам эффективно решать задачу раскроя листового волокнистого композиционного материала с минимальными отходами.

Генетические алгоритмы являются мощным инструментом для решения сложных задач оптимизации, таких как компоновка деталей на листе материала. Они позволяют находить приближённые оптимальные решения даже в условиях высокой размерности пространства поиска. Задача оптимизации раскроя материалов является одной из классических задач комбинаторной математики и логистики. В случае работы с листовыми материалами (например, волокнистыми композитами), важно минимизировать количество отходов при максимальном использовании площади листа.

Методы жадные алгоритмы и генетические алгоритмы помогают найти оптимальное решение, минимизируя отходы и повышая эффективность производственного процесса.

5. Методы на основе искусственного интеллекта

Современные методы машинного обучения и нейронных сетей могут быть использованы для предсказания оптимального расположения элементов на листе. Такие методы обучаются на большом количестве данных и способны адаптироваться к новым условиям.

Преимущества:

- Высокая точность и адаптация к сложным задачам.
- Возможность автоматического улучшения решений со временем.

Недостатки:

- Требуется большое количество данных для обучения.
- Необходимы значительные вычислительные ресурсы.

Выводы. Каждый из перечисленных методов имеет свои сильные и слабые стороны. Выбор метода зависит от сложности задачи, доступности ресурсов и требуемой точности решения. Комбинация нескольких методов может дать наилучший результат.

Инструменты для проведения резания раскроя

При работе с полимерными композиционными материалами (ПКМ), особенно при механической резке, важно учитывать множество факторов, чтобы избежать проблем, таких как расслоение материала на кромках. Давайте разберемся, как правильно подойти к решению этой задачи.

Сложность геометрии

Геометрическая форма заготовки играет важную роль в выборе способа резки. Чем сложнее форма, тем больше вероятность возникновения дефектов, таких как расслоение. Для сложных форм рекомендуется использовать следующие методы:

- **Лазерная резка:** Лазерный луч обеспечивает высокую точность и минимальный риск повреждения краев.

- **Водоструйная резка:** Использование струи воды под высоким давлением позволяет аккуратно разрезать даже самые сложные формы без риска перегрева или механических повреждений.

Требования к точности

Точность резки также влияет на конечный результат. При высоких требованиях к точности следует выбирать методы, обеспечивающие минимальные отклонения:

- **Фрезеровка:** Фрезерование позволяет добиться высокой точности и гладкости поверхности, однако требует специального оборудования и навыков.

- **Плазменная резка:** Плазменная дуга обеспечивает высокую скорость и точность, но может вызывать незначительные дефекты на краях.

Избежание расслоения ПКМ на кромках

Расслоение ПКМ на кромках – одна из самых распространенных проблем при механической резке. Чтобы избежать этого, необходимо соблюдать определенные правила и применять специальные методы:

1. Правильный выбор инструмента

Использование подходящего режущего инструмента значительно снижает риск расслоения. Вот несколько рекомендаций:

- **Режущий инструмент с острыми зубьями:** Острая заточка уменьшает усилие, необходимое для резания, и предотвращает повреждение слоев материала.

- **Инструмент с малым углом наклона зуба:** Малый угол наклона помогает уменьшить силу сдвига, которая может привести к расслоению.

2. Контроль скорости резания

Скорость резания должна быть оптимальной для конкретного типа ПКМ. Слишком высокая скорость может вызвать перегрев и расслоение, тогда как слишком низкая скорость увеличивает риск механического повреждения материала.

3. Применение охлаждающих жидкостей

Охлаждающие жидкости помогают снизить температуру в зоне резания, предотвращают перегрев и уменьшают риск расслоения. Вода или специальные эмульсии часто используются для этих целей.

4. Предварительный нагрев материала

Некоторые виды ПКМ требуют предварительного нагрева перед резкой. Это делает материал более пластичным и снижает риск расслоения.

Способы и методы резки:

- Лазерная резка обеспечивает высокую точность и минимизирует риск повреждения краев. Однако этот метод требует дорогостоящего оборудования и специальных знаний.

- Водоструйная резка использует струю воды под высоким давлением для аккуратного разрезания материала. Этот метод идеально подходит для сложных форм и чувствительных материалов.

- Фрезеровка позволяет достичь высокой точности и гладкой поверхности, но требует специализированного оборудования и навыков оператора.

- Плазменная резка обеспечивает высокую скорость и точность, но может вызывать небольшие дефекты на краях. Этот метод подходит для толстых листов ПКМ.

Избежать расслоения ПКМ на кромках при механической резке возможно, если следовать рекомендациям по выбору инструментов, контролю скорости резания, применению охлаждающих жидкостей и предварительному нагреву материала. Использование современных методов, таких как лазерная и водоструйная резка, также поможет добиться высокого качества реза.

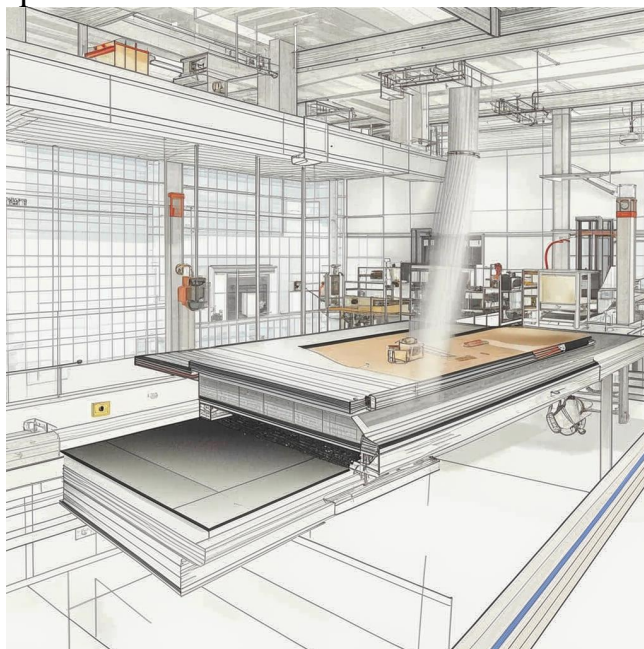


Рисунок 1. Рабочая зона для раскрой листовых полимерных композиционных материалов.

Заключение

Оптимальный раскрой листового волокнистого композиционного материала требует комплексного подхода, включающего использование математических методов и программного обеспечения. Методы динамического программирования, жадные алгоритмы и генетические алгоритмы помогают найти оптимальное решение, минимизируя отходы и повышая эффективность производственного процесса.

Выбор оптимального метода для задачи раскрой листового полимерного композиционного материала зависит от многих факторов, включая сложность геометрии, требования к точности, временные и ресурсные ограничения, а также доступное программное обеспечение и

оборудование. Важно учитывать все эти аспекты при принятии решения, чтобы обеспечить максимальную эффективность и экономичность производственного процесса.

Список литературы

1. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Линейное программирование: теория, методы и приложения. Изд.2-е. М.: КРАСАНД, 2012. – 424 с.
2. Кузнецов А.В., Холод Н.И., Костевич Л.С. Руководство к решению задач по математическому программированию. – Мн.: Выш. шк., 2001. - 448с.
3. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах. - М.: Высшая школа, 1986. – 387с
4. Полезов А.В Раскрой листового материала. / А.В. Полезов, Р.А. Вайсбурд // Научные труды VI отчетной конференции молодых ученых ГОУ ВПО УГТУ-УПИ: Сборник статей В 2ч. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. 2004г. Ч2.
5. Стоян, Ю.Г. Периодическое размещение геометрических объектов / Ю.Г. Стоян, А.А. Панасенко. – Киев: Наукова думка, 1978. – 176 с.
6. Мухачева, Э.А. Математическое программирование / Э.А. Мухачева, Г.Ш. Рубинштейн. – Новосибирск: Наука. Сибирское отд-ние, 1987. – 274 с.
7. Бабаев, Ф.В. Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ / Ф.В. Бабаев. – М.: Машиностроение, 1982. – 167 с.
8. Вдовин, С.И. Раскрой и разделение исходного материала / С.И. Вдовин // Машиностроение: Энциклопедия. Т. III-2. – М.: Машиностроение, 1996. – С. 257 – 266.
9. Кербер М.Л. и др. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии: учебное пособие // СПб, Профессия, 2008. - 560 с.
10. Справочник по композиционным материалам под ред. Дж. Любина М.: Машиностроение, 1988.

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ СХЕМЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ БЕЗДЕФЕКТНОГО Z-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ ТИПА ШПАНГОУТ

Марковцева В.В.

к.т.н., начальник НИО-110 АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск

Аннотация. Рассматриваются факторы, влияющие на качество получаемых гнутых профилей Z-образного сечения авиационного назначения. Приводятся экспериментальные сведения о причинах возникновения дефектов и рекомендации по подбору оптимальных параметров профилирования на стадии разработки схемы формообразования.

Ключевые слова: гнутый профиль, формообразование, шпангоут, качество, дефекты.

METHODOLOGY FOR SCHEME DEVELOPING A DEFECT- FREE Z-SHAPED PROFILE OF THE FRAME TYPE

Markovtseva V.V.

Ph.D., Head of the Research Department JSC "Ulyanovsk NIAT", Ulyanovsk

Abstract. The factors influencing the quality of the resulting bent profiles of the Z-shaped section for aviation purposes are considered. Experimental data on the causes of defects are recommendations on the selection of optimal profiling parameters on the stage of developing the shaping scheme are presented.

Key words: roll forming, bent profile, frame, quality, defects.

Процесс проектирования схемы формообразования гнутых профилей требует учета множества параметров и технологических особенностей процесса. Точный подбор параметров способствует снижению риска возникновения дефектов различного типа, максимальному приближению геометрической формы и размеров готового профиля к заданным, за счет получения оптимальной конфигурации формирующей оснастки. Для Z-образных профилей основными дефектами являются скрутка и нарушение формы в продольном направлении (саблевидность) [1].



Рисунок 1. Панель фюзеляжа летательного самолета МС-21
с Z-образными гнутыми профилями

Основная задача на этапе проектирования и построении схемы заключается выборе оптимальных значений параметров профилирования с целью исключения факторов возникновения различных дефектов. Можно выделить несколько важнейших этапов, соблюдение которых позволит получить необходимый результат.

1. Построение сечения профиля.

Построение сечения выполняется в соответствии с чертежом (эскизом) заказчика, с обязательным указанием допусков на габаритные размеры детали. После этого, строится средняя линия сечения (положение нейтрального слоя), длина которой является базовым параметром для последующего получения теоретической ширины развертки заготовки.

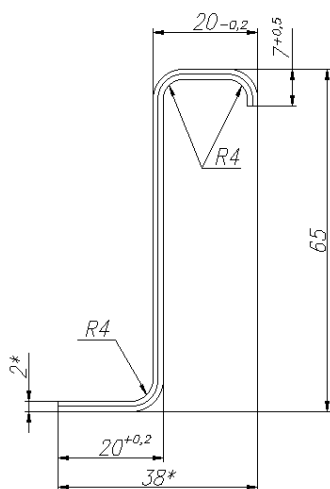
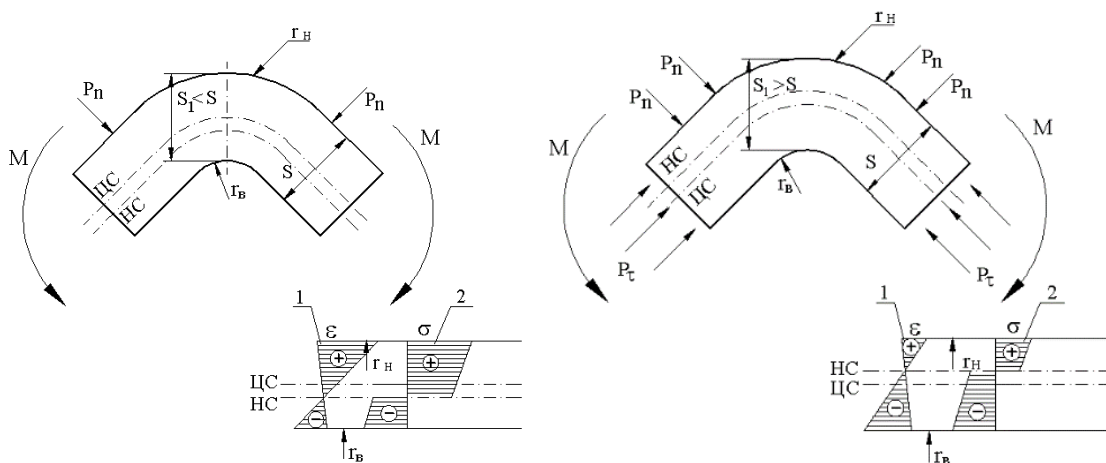


Рисунок 2. Конфигурация профиля

2. Расчет ширины развертки заготовки.

Ширина заготовки должна быть определена с учетом вида напряженно-деформированного состояния, то есть метода формообразования. Например, при традиционном профилировании нейтральный слой смещается в сторону сжатых волокон, что также сопровождается утонением зоны сгиба (рисунок 3).



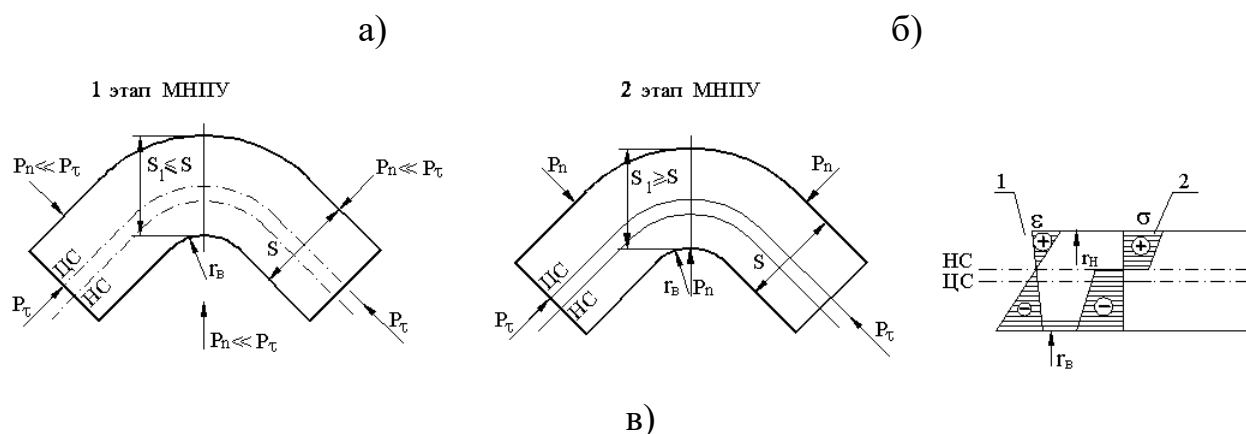


Рисунок 3. Расположение нейтрального слоя: а – при свободной гибке в роликах; б – при стесненном изгибе; в – при методе наравленной потери устойчивости элементов заготовки.

В настоящее время на предприятии АО «Ульяновский НИАТ» применяются методы, интенсифицирующие процесс профилирования, при которых нейтральный слой практически не смещается, что позволяет использовать для расчета длину средней линии. В работе [2] приведена номограмма, по которой определяют коэффициент избытка заготовки k (рисунок 4), зависящий от свойств материала и получаемого внутреннего радиуса r . Указанный коэффициент в практике АО «Ульяновский НИАТ» принимается в значении $0,4 \div 0,6$ (в общем случае – $0,5$) [3].

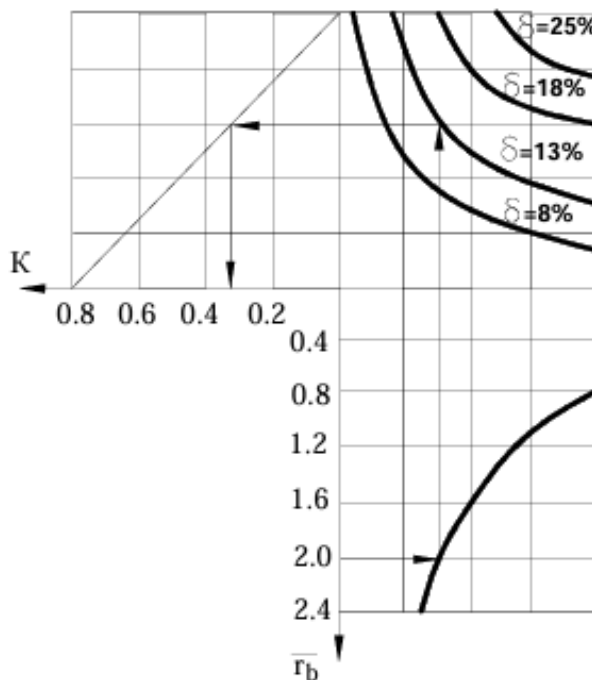


Рисунок 4. Номограмма расчета коэффициента избытка заготовки

Кроме того, вводится параметр n , значение которого соответствует количеству зон сгиба профиля. Существует несколько формул, учитывающих сложное нагружение, радиусы кривизны внутреннего и

наружного контуров и др., однако на практике применяют формулу для определения ширины заготовки в условиях плоской деформации, результат может быть уточнен при отработке или проведении современными автоматизированными средствами трехмерного моделирования.

Получаем формулу для расчета практической ширины развертки:

$$l_{\text{пр}} = l_{\text{т}} + 0,5 \cdot n \quad ,$$

где $l_{\text{т}}$ – теоретическая ширина развертки, n – количество зон сгиба.

3. Расчет оптимального количества переходов.

Количество переходов зависит от применяемого метода, то есть схемы напряженно-деформированного состояния. Чем ближе оно будет к условиям всестороннего сжатия (метод стесненного изгиба), тем большую степень деформации можно будет допустить на каждом переходе, то есть осуществлять гибку с большими углами, что позволит уменьшить количество переходов [4]. Однако до настоящего времени данный вопрос является актуальным и не получил однозначного разрешения, поскольку от количества переходов напрямую зависит качество получаемых профилей. В соответствии с результатами экспериментальных данных, описанных в работе [2], для Z-образных профилей рекомендуется осуществлять гибку за 4 перехода (исследовались схемы от 3 до 6 переходов), как наиболее оптимальный вариант. Минимальное количество переходов (3) приводило к появлению задигов на поверхности профилей. Большее количество переходов (от 5 до 6) давало дефекты в виде скрутки (нарушение прямолинейности).

В настоящее время действующая схема, разработанная специалистами АО «Ульяновский НИАТ», содержит 7 переходов, при этом в последнем переходе реализуется метод стесненного изгиба (осадка), что позволяет получить заданную геометрию профиля. Такая схема обеспечивает плавность подгибки, постепенный набор материала для формирования полок, отбортовок и уголков зон.

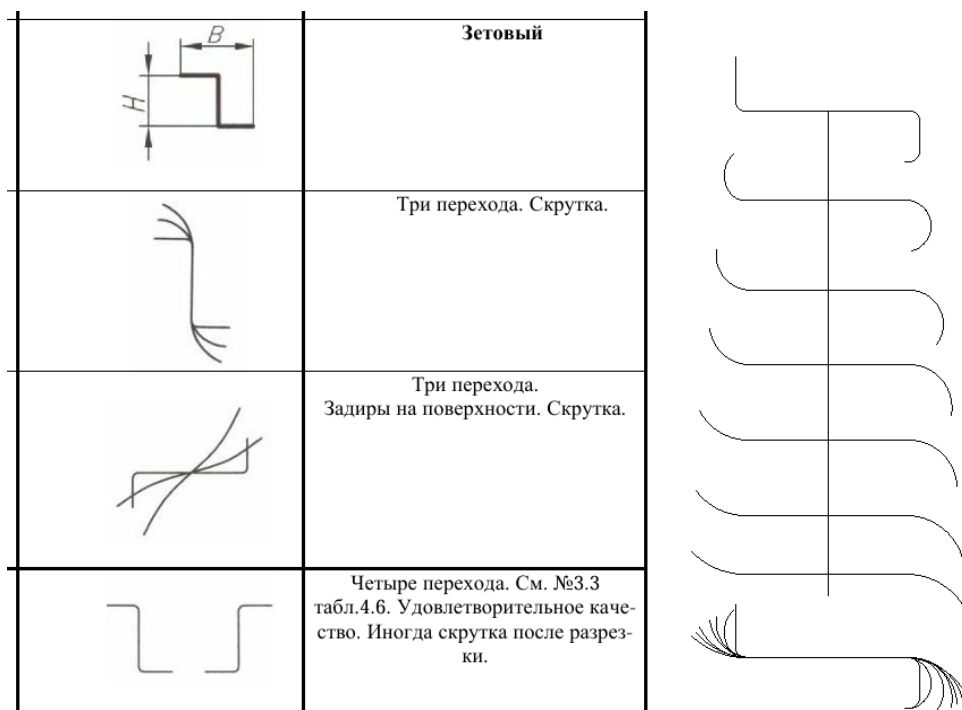


Рисунок 5. Схемы получения Z-образного профиля

4. Определение расположения заготовки в калибрах.

После определения количества переходов переходят к следующему этапу: определение положение заготовки на каждом переходе. Число переходов должно определяться исходя из критериев плавности распределения углов подгибки и постепенного набора формы заготовки, а также физико-механических свойств материала и толщины заготовки.

На первом этапе определения угла подгибки целесообразно установить предельно допустимый (критический) угол, на который можно подогнуть элемент без образования кромковой волнистости. Определение углов подгибки подробно описано в работе [5], где приведены аналитические методы определения критического угла подгибки, а также номограмма, основанная на полученных экспериментальных данных.

Помимо углов подгибки важным является положение заготовки относительно горизонтали. Подача заготовки в первый переход осуществляется горизонтально, однако имеются ситуации, при которых целесообразно на определенном этапе обеспечить поворот сечения на 90° (рисунок 6).



Рисунок 6. Прием смены оси профилирования заготовки

Данный прием применяется для высоких профилей Z-образного сечения с целью уменьшения диаметров формующих роликов, снижения их линейных скоростей и минимизации вероятности возникновения различного рода дефектов (потертости, царапины и др.). В данной работе применялась схема, при которой первые три перехода происходила последовательная подгибка линейной части заготовки на углы 8° , 13° и 18° , с 4 перехода и далее сечение повернуто на угол 15° относительно горизонтали. валы роликового инструмента при этом установлены вертикально. При этом велось непрерывное формообразование уголкового зон, полок и отбортовок в форме цельного радиусного элемента, с постепенным уменьшением величины радиуса. Выход профиля из калибра окончательного перехода осуществляется также в горизонтальном положении (рисунок 7).

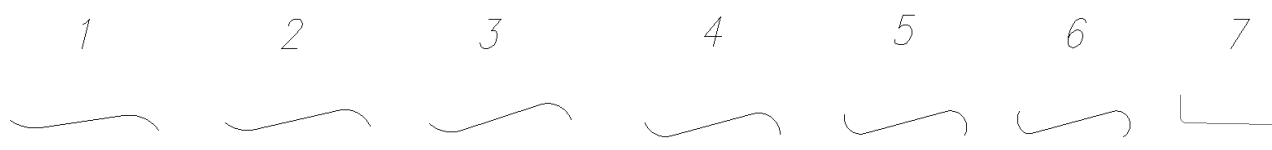


Рисунок 7. Схема формообразования Z-образного профиля

5. Принципы построения сечений по переходам

Переходя непосредственно к геометрическим построениям, следует придерживаться определенных правил:

- Необходимо соблюдение равенства ширин разверток полок на всех переходах (кроме последнего). Это означает, что на ширину развертки каждого элемента остается постоянной на каждом переходе (кроме окончательного).

- Точка сопряжения линейного участка заготовки с радиусным элементом (состоящим из будущих уголкового зон, полок и отбортовок) является точкой, через которую проходит касательная (нормаль) к радиусу данного элемента (крайняя верхняя точка) (см. рисунок 8).

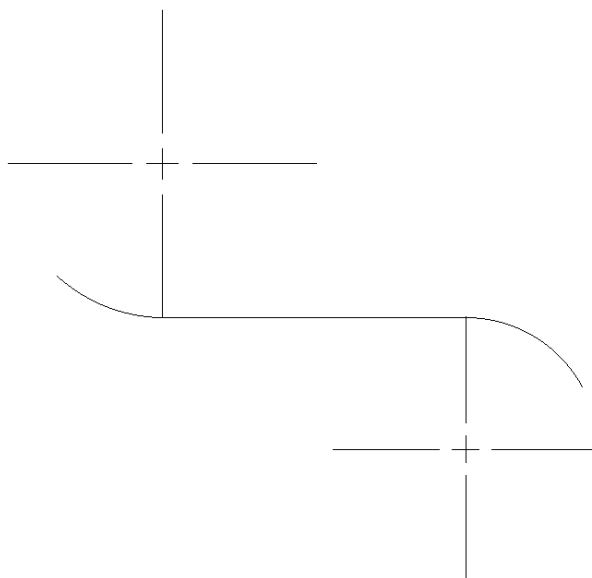


Рисунок 8. Точки сопряжения линейного участка заготовки с радиусным элементом «по касательным»

- Радиусный элемент формировать цельным, прибегать к составной форме (например, сопряжение между линейным участком и радиусным элементом) только при невозможности добиться необходимой геометрии и ширины развертки (рисунок 9).

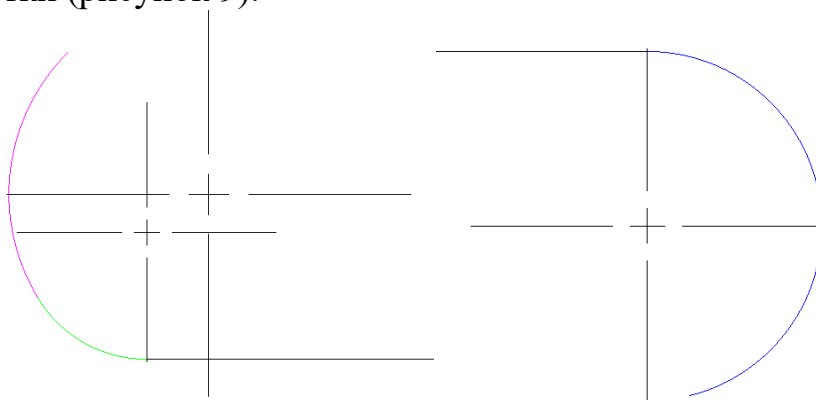


Рисунок 9. Составной элемент (слева) и цельный (справа)

- На окончательном переходе контролировать допуски на размеры полков, обеспечить «перегиб» профиля на 1° - 2° для компенсации дефектов (скручивание).

- Линейный размер полков профиля на предварительном переходе должен находиться в пределах или совпадать с аналогичным линейным размером окончательного перехода (рисунок 10).

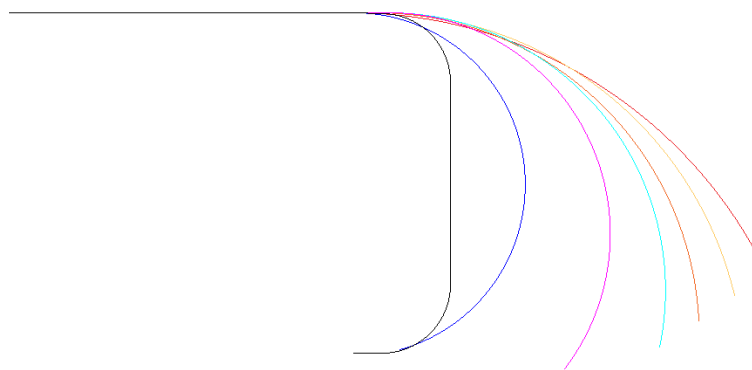


Рисунок 10. Схема формообразования полки Z-Образного профиля

Список литературы

1. Марковцев, В.А. Производство гнутых профилей для авиационных конструкций / В. А. Марковцев, В. В. Марковцева, В. И. Филимонов. — Ульяновск : УлГТУ, 2016. — 437 с.
2. Изготовление профилей из плакированных листов алюминиевых сплавов Д16ч, 12163 и В95пч методом стесненного изгиба : ТР 1.4.1780-87. — Москва : НИАТ, 1988.
3. Марковцев, В.А. Формообразование стесненным изгибом в роликах и правка гнутых тонкостенных профилей : монография / В. А. Марковцев, В.И. Филимонов. — Ульяновск : УлГТУ, 2006. — 243 с.
4. Проектирование и изготовление формующего инструмента для изготовления профилей из листа методом стесненного изгиба. Методические материалы. — Москва : НИАТ, 1992.
5. Филимонов, С.В. Интенсивное формообразование гнутых профилей / С.В. Филимонов, В.И. Филимонов. — Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2008. — 4 с.
6. О схемах формовки зетовых профилей с широкой стенкой. / Гульшин В.А., Марковцева В.В., Филимонов С.В., Филимонов В.И. // Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера : материалы V Международной научно-производственной конференции, приуроченной ко Дню Российской науки. — Ульяновск: 2020. — С. 21-27.
7. Патент № 2700224 Российская Федерация, МПК В21D 5/06. Способ изготовления гнутых зетовых профилей с покрытиями в роликах : 2018127931 : заявл. 30.07.2018 : опубл. 13.09.2019 / Марковцева В. В. — 8с.

УДК 629.7.002:621.981

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРАВКИ ПРОФИЛЕЙ РАСТЯЖЕНИЕМ

Марковцев В. А.¹, Попов А. Г.², Антонов В. Н.³,
Агафонов А.Н.⁴

1 – д.т.н., генеральный директор АО «Ульяновский НИИТ»

2 – к.т.н., вед. научный сотрудник АО «Ульяновский НИИТ»

3 – начальник НИО АО «Ульяновский НИИТ»

4 – вед. инженер-конструктор АО «Ульяновский НИИТ»

Аннотация. В АО «Ульяновский НИИТ» разработана, изготовлена и находится на этапе испытаний установка правки профилей растяжением УППР-1. Данная установка предназначена для правки прессованных и гнутых профилей до 9 метров длины после термообработки и будет поставлена в филиал ПАО «Ил» - Авиастар в марте этого года. УППР-1 содержит гидравлический привод из двух зажимных и одного растяжного гидроцилиндров, а также гидростанции с регулирующей и вспомогательной аппаратуры. Максимальное усилие при растяжении составляет 350 кН, при усилиях на зажиме профиля до 30кН. В УППР предусмотрена система индикации для автоматизированного контроля процессов правки профилей растяжением.

Ключевые слова. Гнутые и прессованные профили, алюминиевый сплав, зажимные губки, правка растяжением, каретка, продольный изгиб, гидроцилиндр, система индикации, датчик перемещения.

DEVELOPMENT OF AN INSTALLATION FOR STRAIGHTENING PROFILES BY STRETCHING

Markovtsev V. A.¹, Popov A. G.², Antonov V. N.³,
Agafonov A.N.⁴

1 – Doctor of Technical Sciences, General Director of JSC "Ulyanovsk NIAT"

2 – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at JSC "Ulyanovsk NIAT"

3 – Head of the Research Institute of JSC "Ulyanovsk NIAT"

4 – Head. Design Engineer of Ulyanovsk NIAT JSC

Abstract. Ulyanovsk NIAT JSC has developed, manufactured, and is currently testing a stretching profile correction unit, UPR-1. This unit is designed for straightening pressed and bent profiles up to 9 meters in length after heat treatment and will be delivered to the branch of PJSC Il Aviastar in March this year. The UPR-1 contains a hydraulic drive consisting of two clamping and one stretching hydraulic cylinders, as well as a hydraulic station with regulating and auxiliary equipment. The maximum tensile force is 350 kN, with profile clamping forces up to 30 kN. The UPR provides an indication system for automated control of the processes of straightening profiles by stretching.

Keywords: Bent and pressed profiles, aluminum alloy, clamping jaws, stretching adjustment, carriage, longitudinal bending, hydraulic cylinder, display system, displacement sensor.

Прессованные и гнутые профили являются основными видами заготовок для изготовления элементов каркасов фюзеляжей и других агрегатов самолетов производимых на филиале ПАО "Ил"-Авиастар. В последнее время значительные объемы тонкостенных прессованных и гнутых профилей из высокопрочных алюминиевых сплавов

перерабатываются для изготовления стрингеров панелей фюзеляжа современных российских самолетов МС-21 и ИЛ-114-300.

В процессах термообработки, транспортировки и формообразования профили из алюминиевых сплавов приобретают следующие виды дефектов:

1. Продольные изгибы (отклонения от прямолинейности) до 50 мм на метр;
2. Скручивание вокруг продольной оси до 10 градусов на метр;
3. Продольная волнистость полок и стенок профиля.

На рисунке 1 приведен гнутый тонкостенный профиль, форма которого изменена в процессе закалке.

Механизация процессов правки профилей затруднена большой номенклатурой профилей по размерам и материалам (например, на одном из выпускаемых на филиале ПАО "Ил"-Авиастар самолете используется более 100 видов профилей). В настоящее время правка прессованных профилей осуществляется в основном ударным инструментом (молотками) на специальных плитах. Правка гнутых тонкостенных профилей с плакирующим слоем выполняется на профилегибочных растяжных прессах ПГР в свежезакаленном состоянии, что предполагает большую загрузку сложного оборудования.



Рисунок 1. Профиль после термообработки до правки

АО «Ульяновский НИАТ» по договору с Филиалом ПАО «Ил» - Авиастар выполнил разработку установки правки профилей растяжением (УППР-1) для правки заготовок из прессованных и гнутых профилей после термообработки, общий вид которой приведен на рисунке 2.

Основные технические задачи, решаемые при разработке гидравлических растяжных прессов [1]:

1. Быстрое, надежное закрепление и удержание профилей в зажимных губках растяжной и опорной каретках;
2. Управление и контроль процессами предварительной и окончательной правки растяжением профилей с упруго-пластической деформацией до 1-2 %;
3. Изменение режимов растяжения при изменении исходной формы и длины профилей одного сечения;
4. Возможность простой замены зажимных губок при изменении сечения профиля.

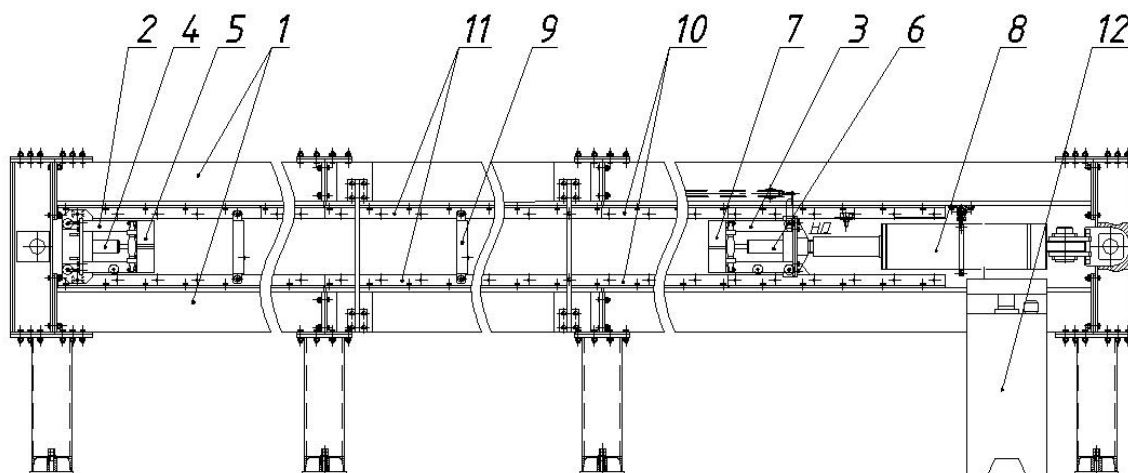


Рисунок 2. Общий вид УППР-1

1- корпус со стойками; 2 – опорная каретка; 3- растяжная каретка; 4- зажимной гидроцилиндр опорной каретки 2; 5- зажимные губки опорной каретки 2; 6 - зажимной гидроцилиндр растяжной каретки 3; 7- зажимные губки растяжной каретки 3; 8 – растяжной цилиндр; 9 - полки для размещения профиля до и после правки; 10 – направляющие; 11- отверстия в направляющих для фиксации опорной каретки 2; 12-гидростанция для обеспечения рабочей жидкостью гидроцилиндров.

Основные технические характеристики УППР-1:

1. Максимальная длина профиля, м	9
2. Максимальная толщина стенки профиля, мм	3
3. Усилия растяжения профиля, кН	350
4. Усилия зажима профиля, кН	30
5. Максимальный ход растяжного гидроцилиндра, мм	500
6. Рабочее давление в гидросистеме, МПа	16
7. Потребляемая мощность, кВт	7,5

Зажимные губки для фиксации Z-образного профиля в каретках УППР-1 представлены на рисунке 3



Рисунок 3. Зажимные губки УППР-1 для Z-образного профиля

Для контроля и управления процессами правки профилей в УППР-1 предусмотрена система индикации, которая приведена на рисунке 4.

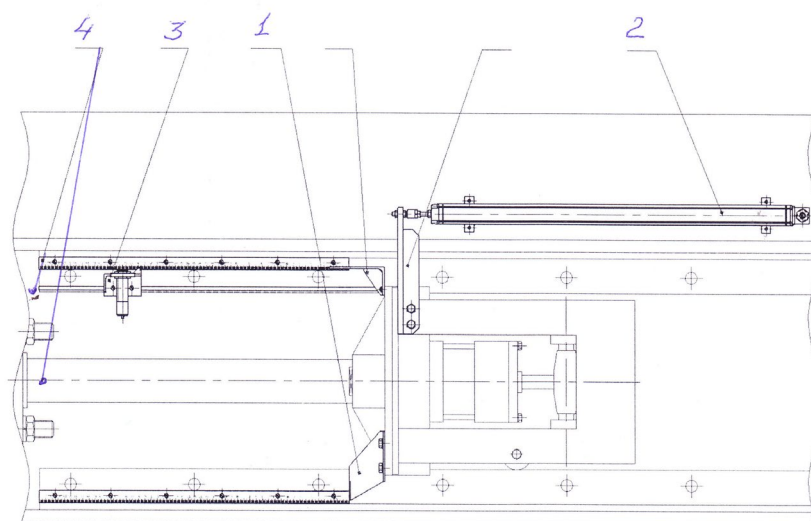


Рисунок 4. Система индикации УППР-1

1- указатель; 2- датчик перемещения; 3- концевой выключатель; 4-шток растяжного гидроцилиндра

В системе индикации УППР-1 наряду с визуальным контролем по указателю 1 и измерительной линейке используется датчик перемещения 2 с электрическим выходом, сигнал от которого поступает на шкаф управления. На дисплее шкафа управления показывается величина перемещения штока 4, а также по заданному значению перемещения система управления может автоматизировано остановить процесс правки профиля. В УППР-1 на дисплее шкафа управления осуществляется

контроль давления рабочей жидкости в зажимных 4, 6 и растяжном 8 гидроцилиндрах (см. рис.1). Гидростанция УППР-1 снабжена гидроаппаратурой для регулирования давления рабочей жидкости и скорости перемещения штока растяжного гидроцилиндра.

Выводы:

1. Разработанная в АО «Ульяновский НИАТ» установка правки профилей растяжением УППР-1 позволит снизить трудоемкость и повысить качество процессов правки прессованных и гнутых профилей после термообработки в условиях серийного авиационного производства.

2. УППР-1 содержит систему индикации для контроля и автоматизации процессов правки профилей растяжением.

3. Производительность УППР-1 может быть существенно увеличена если для правки готовить профили подобные по контуру поперечного сечения.

Список литературы

1. Каргин В. Р., Гречников А. Ф. и др. Специальные виды прессования - Самара: Изд-во СГАУ, 2015.

УДК 621.98

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ УДАРНОГО И РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, МЕТОДЫ НАНЕСЕНИЯ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

**Морозов О.И.¹, Мишов Н.В.², Родионов Д.А.³, Фоменков Д.В.⁴,
Храмов Д.А.⁴**

1 – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

2 – ассистент кафедры «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, аспирант 3 года обучения, г. Ульяновск

3 – аспирант 2 года обучения кафедры «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

4 – студент 3 курса обучения кафедры «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

Аннотация. Проанализированы существующие методы нанесения износостойких покрытий, рассмотрены классификация износостойких покрытий и их применения.

Ключевые слова: Методы, износостойкие покрытия, многослойные покрытия, классификация.

FUNCTIONAL WEAR RESISTANT COATINGS FOR IMPACT AND CUTTING TOOLS, APPLICATION METHODS AND THEIR CLASSIFICATION

Morozov O.I.¹, Mishov N.V.², Rodionov D.A.³

1 – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of "Materials Science and OMD" UlSTU, Ulyanovsk

2 – Assistant of the Department of "Materials Science and OMD" UlSTU, postgraduate 3 years of study, Ulyanovsk

3 – postgraduate 2 year of study Departments of "Materials Science and OMD" UlSTU, Ulyanovsk

4 – student of 3 years of study at the Department of "Materials Science and OMD" UlSTU, Ulyanovsk

Abstract. The existing methods of applying wear-resistant coatings are analyzed, the classification of wear-resistant coatings and their application are considered.

Keywords. Methods, Wear Resistant Coatings, Multilayer Coatings, Classification.

Методы нанесения износостойких покрытий (ИП) на ударных и режущих инструментах нашли широкое применение в промышленности. Главное преимущество над другими методами повышения работоспособности заключается в широких возможностях направленного регулирования поверхностными свойствами инструментального материала. Служебные свойства покрытий, их структурно-параметрические и кристаллохимические характеристики сильно зависят от метода получения. Инструменты с покрытиями по своим свойствам превосходят инструменты без покрытий.

Начало широкого использования инструмента с покрытиями в машиностроении промышленно развитых стран пришлось на середину 80-х гг и было обусловлено его высокой эффективностью и удачными

технологическими решениями нанесения покрытий. В этот же период были разработаны и внедрены в промышленное производство различные методы и оборудование для нанесения покрытий на твердосплавные и быстрорежущие инструменты, позволяющие повысить его стойкость в 2 и более раз (в зависимости от условий обработки). В настоящее время разработано несколько основных методов нанесения покрытий на рабочие поверхности ударных и режущих инструментов, классификация которых основывается на специфики процессов формирования покрытий [1]. Существующие методы можно разделить на 3 основные группы (Рис.1).



Рисунок 1. Классификация методов нанесения покрытий

Самые распространенные среди них методы химического осаждения из паровой фазы (ХОП) и методы физического осаждения из пароплазменной фазы (ФОП) [2]. Каждая из которых обладает своими преимуществами и недостатками. Отличительной особенностью покрытий, полученных ХОП, является адгезионно-диффузионная связь ИП с основой из-за формирования переходной зоны между ИП и твердым сплавом. Наибольшее распространение в промышленности получили методы ХОП, которые используют для нанесения покрытий на многогранные неперетачиваемые твердосплавные пластинки в условиях массового

производства. Недостатками методов ХОП, является наличие хрупкой переходной зоны, высокая температура порядка 1000^0 С, поэтому данная технология применяется в основном только для твердосплавного режущего инструмента. Так же к недостаткам методов ХОП относится узкая номенклатура осажденных металлов. Преимуществом методов ФОП, по сравнению с другими методами, является отсутствие переходной зоны между ИП и инструментальным материалом и широкая номенклатура материалов ИП, также они широко применяются для нанесения ИП на различные типы инструментов из быстрорежущих сталей, твердых сплавов в условиях специализированных участков инструментальных цехов и в массовом производстве. Одним из наиболее распространенных методов ФОП является метод конденсации покрытия из плазменной фазы с ионной бомбардировкой (КИБ) [2].

В современном производстве к ИП ударного и режущего инструмента предъявляются повышенные требования, обусловленные комплексом факторов. Эти факторы связаны с совершенствованием свойств покрытий, композиции «покрытие – инструментальный материал» и оптимизацией условий работы инструмента. Большое многообразие типов ИП, наносимых на инструмент, можно классифицировать по определенному набору свойств и функций, определяющих их служебное назначение: по составу покрытия и его строению (Рис. 2).



Рисунок 2. Обобщенная классификация износостойких покрытий для инструмента

В практике нанесения покрытий выделяют следующие направления совершенствования инструмента с ИП: разработка многослойно-композиционных покрытий и совершенствование конструкции покрытия;

совершенствование технологии нанесения покрытия, разработка новых составов.

Одним из направлений совершенствования покрытий является создание многослойно-композиционных покрытий. Многослойные покрытия характеризуются плавным переходом физико-механических и теплофизических свойств покрытий от инструментальной основы к верхнему граничному слою покрытия. Подбирая свойства и толщину каждого слоя в зависимости от его функционального назначения, можно более эффективно варьировать свойства всего покрытия в целом. Кроме того, создание многослойного покрытия обеспечивает повышение сопротивления его хрупкому разрушению при воздействии переменных термомеханических нагрузок.

В работах современных ученых рассматриваются принципы построения многослойных покрытий. Отмечается, что покрытие должно состоять из следующих слоев: верхнего – твердого, износостойкого слоя, обладающего физико-химической пассивностью по отношению к обрабатываемому материалу и высокой термодинамической устойчивостью; нижнего – обладающего максимальной кристаллохимической совместимостью с материалом основы и обеспечивающего максимальную адгезию с поверхностью инструмента; промежуточных слоев – имеющих переменные свойства и обеспечивающих адгезионную связь между верхним и нижним слоями, а также обладающих барьерными функциями (например, при теплопереносе, диффузии, для обеспечения термодинамической устойчивости).

В то же время при применении ИП для штампового инструмента в основном изучены однокомпонентные ИП, например, такие как TiN, наносимые на штампы из быстрорежущей стали, при этом вопросы нанесения ИП сложного состава для штампового инструмента мало изучены. Тем не менее, известно, что нанесение ИП сложного состава для режущего инструмента, увеличивая период стойкости инструмента в 1,5 - 3 раза по сравнению с ИП TiN в зависимости от состава покрытия, обрабатываемого материала и режима резания. Еще более эффективны многослойные покрытия (МП), включающие слои различного функционального назначения. Например, для непрерывного резания предложен принцип построения МП, согласно которому МП должно иметь как минимум два слоя: верхний слой должен обеспечивать повышения запаса пластической прочности и снижения процессов трещинообразования, а нижний слой TiN – высокую прочность сцепления с инструментальной основой. Были разработаны такие ИП как TiN-TiCN, TiN-TiAlN и трехслойные – TiN-TiCN-TiZrN. Для прерывистого резания была предложена конструкция МП, согласно которой МП должно иметь верхний и нижний слои меньшей твердости по сравнению с более твердым промежуточным слоем. Такая конструкция МП повышенной трещиностойкости должна содержать промежуточный слой TiZrN, в

качестве верхнего и нижнего слоев МП можно использовать слои TiN и TiCN, которые отвечают требованиям, предъявляемым к МП, работающим в условиях прерывистого резания (примеры таких МП: TiCN-TiZrN-TiN, TiCN-TiMoN-TiN). Результаты экспериментов показывают, что такие ИП обладают более высокими механическими свойствами и эффективностью по сравнению с ИП, легированными только одним элементом [3].

Таким образом, проблема разработки специальных ИП, многослойного типа для штампового инструмента требует дополнительных исследований.

Список литературы

1. Локтев, Д. Основные виды износостойких покрытий / Д. Локтев, Е. Ямашкин // Наноиндустрия. – 2007. – № 5. – С. 24–31.
2. Верещака А.С. Физические основы процесса резания и изнашивания режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака, Табаков В.П. – Ульяновск: УлГТУ, 1998 – 144 с
3. Табаков В.П. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями на основе сложных нитридов и карбонитридов титана. – Ульяновск: УлГТУ, 1998. – 123 с.

УДК 629.735.33(07)

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИНТЕГРАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (БПЛА) САМОЛЕТНОГО ТИПА

Трубякова Е.М.¹, Дмитриенко Г.В.²

1 – аспирант 2 года обучения кафедры «Самолетостроение» УлГТУ, г. Ульяновск

2 – д.т.н., профессор кафедры «Самолетостроение» УлГТУ, г. Ульяновск

Аннотация. В работе разработаны рекомендации по проектированию интегральной конструкции многофункционального БПЛА роторного типа с аэродинамической системой «утка», по типу модульной конструкции, заявляющий более высокие по отношению к существующим БПЛА аэродинамические качества, высокую транспортную эффективность и меньшую массу, со встроенными внутри конструкции ячеистыми отсеками, которые обеспечивают упрочнение конструкции и одновременно позволяют внутри себя размещать различное техническое и радиооборудование.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты (БПЛА), интегральная конструкция БПЛА, БПЛА с аэродинамической схемой «утка», модульная конструкция БПЛА, модульно-интегральная конструкция БПЛА, аккумуляторная батарея.

DESIGN OF AN INTEGRATED DESIGN OF AN AIRPLANE-TYPE UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV)

Trubyakova E.M.¹, Dmitrienko G.V.²

1 – postgraduate student of 2 year of study at the Department of "Aircraft Engineering" UISTU, Ulyanovsk

2 – doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Aircraft Engineering" UISTU, Ulyanovsk

Abstract. The paper develops recommendations for the design of an integrated design of a multifunctional rotary-type UAV with a duck aerodynamic system, according to the type of modular design, claiming higher aerodynamic qualities, high transport efficiency and lower weight compared to existing UAVs, with cellular compartments built inside the structure, which strengthen the structure and at the same time allow various components to be placed inside themselves technical and radio equipment.

Keywords: unmanned aerial vehicles (UAV), integrated UAV design, UAV with duck aerodynamic scheme, modular UAV design, modular integrated UAV design, battery pack.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) представляют собой одну из наиболее динамично развивающихся технологий последних десятилетий. Актуальность БПЛА продолжает расти благодаря их универсальности и способности решать широкий спектр задач в различных сферах, множеством факторов и областей применения. Развитие технологий и совершенствование законодательства будут способствовать дальнейшему расширению возможностей использования БПЛА в будущем [4].

Не имеющий аналогов результат получаем во время мониторинга окружающего пространства посредством БПЛА, включающий в себя исследование, наблюдение и контроль удалённых и протяжённых объектов, а также экологический мониторинг. Аппараты с фотокамерами,

тепловизорами и мультиспектральными камерами позволяют проводить регулярный или внеплановый мониторинг оперативно, качественно и точно в любое время дня и года.

При формулировании рекомендаций по проектированию БПЛА для мониторинга окружающего пространства необходимо отсеять ряд ограничений, для разработки требуемых характеристик.

Для мониторинга оптимально использование БПЛА:

- самолётного типа
- взлётная масса: до 1500кг.;
- радиус действия: ≥ 1500 км.;
- грузоподъёмность: до 500кг.;
- маневренность: высокая;
- способность зависать в одной точке;
- работа в различных погодных условиях.

Выбор материала для изготовления беспилотного средства представляет собой не легкую задачу. Следует учесть множество факторов, таких как прочность, вес, устойчивость к внешним воздействиям и стоимость производства ориентировано на поставленные задачи. Использование композитных материалов при изготовлении БПЛА предоставляет ряд значительных преимуществ по сравнению с традиционными материалами, такими как металл или пластик. Уникальные свойства композитных материалов, такие как легкость, прочность, устойчивость к внешним воздействиям и низкая стоимость производства, делают их незаменимыми для создания эффективных, надежных и экономически выгодных решений.

Рекомендуется рассматривать один из нижеперечисленных композитных материалов:

1. Углепластик (карбон) – композит, состоящий из углеродного волокна и полимерной матрицы (обычно эпоксидной смолы). Этот материал обладает высокой прочностью при малом весе, что делает его идеальным для создания корпусов и крыльев БПЛА. Углепластик также устойчив к коррозии и имеет высокую усталостную долговечность. Пример использования: каркасы, лопасти пропеллеров, рамы.

2. Кевлар – композит на основе арамидных волокон и полимерной матрицы. Кевлар известен своей высокой ударопрочностью и стойкостью к порезам, поэтому он может применяться для защиты критически важных узлов БПЛА.

3. Металлические композиты – используются реже, так как они тяжелее, однако обладают отличной теплопроводностью и могут быть полезны в конструкциях, требующих эффективного отвода тепла.

4. Боропластик — это композитный материал, который состоит из полимерной матрицы, усиленной борными волокнами. Данный материал обладает рядом уникальных свойств, таких как жесткость, высокая прочность, электропроводность, устойчивость к химическим и температурным воздействиям и т.д., которые делают его привлекательным для использования в

аэрокосмической промышленности, включая создание беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)

5. Наноккомпозиты – материалы, содержащие наномасштабные включения, такие как нанотрубки или нанопластинки. Они позволяют улучшить механические свойства традиционных композитов за счет добавления небольшого количества наноструктурированных частиц.

6. Стеклопластик – композит, содержащий стекловолокно и полимерную матрицу. Он менее прочен по сравнению с карбоном, но значительно дешевле и проще в производстве. Стеклопластик часто используется для изготовления деталей корпуса и элементов конструкции, где не требуется экстремальная прочность.

Заявленные характеристики обеспечат эффективное выполнение задач мониторинга.

Помимо свойств, регулярно озвучиваемых в специальной литературе, композитные материалы имеют и ряд других, не менее важных технологических характеристик таких, как:

- малый коэффициент теплового расширения. Композиты имеют очень малый коэффициент теплового расширения, что делает их идеальными для использования в высокоточных системах. Это свойство гарантирует стабильность размеров и форм деталей при изменении температуры, что особенно важно для длительных полетов в разных климатических зонах.

- звукоизоляция. Для обеспечения необходимых задач можно выбрать композиты, обладающие звукоизолирующими свойствами, что помогает снижать уровень шума при непосредственной близости оператора, улучшая условия работы и повышая концентрацию.

- минимизация вибраций. Композиты могут эффективно поглощать вибрации, возникающие при работе двигателей и других движущихся частей беспилотника. Это уменьшает износ механизмов и повышает точность работы чувствительного оборудования.

- прочность при низких температурах. Композиты сохраняют свою прочность и эластичность даже при очень низких температурах, что делает их отличным выбором для беспилотников, используемых в полярных регионах или на больших высотах.

- отсутствие необходимости в дополнительной обработке. Многие композиты не требуют дополнительной обработки после формовки, что сокращает производственные затраты и время изготовления. Это особенно ценно для серийного производства беспилотников.

- широкий диапазон рабочих температур. Композиты могут работать в широком диапазоне температур, от крайне низких до высоких, что расширяет область применения беспилотников и позволяет использовать их в самых разнообразных климатических условиях.

- повышение безопасности полетов. Легкая конструкция из композитов снижает нагрузку на двигатели и систему управления, что

повышает общую безопасность полетов. Более легкие беспилотники легче контролируются и быстрее реагируют на изменения в окружающей среде. – улучшенные аэродинамические характеристики. Композиты позволяют создавать гладкие и обтекаемые поверхности, что улучшает аэродинамические характеристики беспилотника. Это ведет к повышению скорости и эффективности полета, а также к снижению сопротивления воздуха.

– сокращение времени разработки. Использование композитных материалов ускоряет процесс разработки новых моделей беспилотников благодаря их гибкости и возможности быстрой адаптации к изменениям в проектировании.

– экономия ресурсов. Композиты требуют меньших затрат на производство и обработку по сравнению с традиционными материалами, что позволяет экономить ресурсы и снижать себестоимость продукции.

– модульность. Композитные детали могут быть изготовлены модульно, что облегчает замену отдельных частей в случае повреждения или модернизации. Это ускоряет процесс ремонта и обновления беспилотника

Композитные материалы открывают огромные перспективы для развития индустрии беспилотных летательных аппаратов. Их использование позволяет создать легкие, прочные, надежные и экономичные устройства, способные выполнять самые разнообразные задачи в любых условиях.

Основываясь на вышеперечисленных свойствах композитов, рекомендовано при выборе материала для изготовления беспилотного аппарата, не останавливаться на одном из перечисленных материалов, а каждую часть БПЛА выкладывать из композитного материала, заявляющего более близкие к идеальным требованиям характеристики.

Акцентируя внимания на заявленных ограничениях, следует уделить внимание написанию технического задания для практического применения в заданных условиях эксплуатации.

Техническое задание для БПЛА включает следующие основные пункты:

1. Состав оборудования:
 - беспилотный летательный аппарат;
 - наземный модем;
 - воздушные винты (2 пары);
 - толкающий двигатель;
 - полётная аккумуляторная батарея (основная и запасная);
 - полезная нагрузка: аэрофотокамера достаточного разрешения с системой управления;
 - зарядное устройство;
 - транспортировочный кейс с беспилотником.
2. Технические характеристики БПЛА:
 - двигатель: бесколлекторный электродвигатель;

- воздушные винты из высокотехнологичных композитных материалов (углеткань, карбон);
 - размерность винта: диаметр (дюйм) / шаг (дюйм);
 - вес винта: в зависимости от поставленной задачи;
 - возможность ручного и автоматического приземления;
 - крейсерская скорость: не менее 10 м/с;
 - максимальная горизонтальная скорость: не менее 15 м/с;
 - продолжительность полёта в полной загрузке: не менее 40 минут;
 - аккумуляторная батарея: регулируется ограничениями поставленной задачей;
 - съемные носители памяти (SD-карты, флеш-карты);
3. Условия проведения полётов и аэрофотосъёмки:
- скорость ветра: не более 10 м/с;
 - максимальная рабочая высота полёта: не менее 500 метров;
 - рабочий диапазон температур: от -35 °С до +40 °С;
 - решение навигационных задач с использованием системы

Следует учесть:

- характеристики безопасности:
 - аварийные режимы: Реакция на потерю связи, разряд аккумулятора, отказ датчиков.
 - предотвращение столкновений: Система обнаружения препятствий.
 - геозонирование: Ограничение зон полета по географическим координатам.
- надежность
 - климатическое исполнение: диапазон рабочих температур, устойчивость к осадкам.
 - надежность компонентов: требуемый уровень надежности двигателей, аккумуляторов, электроники.
 - резервирование критичных систем: дублирование важных узлов и систем.
- интероперабельность
 - совместимость с другими системами: возможность интеграции с существующими системами управления и мониторинга.
 - протоколы обмена данными: стандартные протоколы передачи данных между компонентами системы.
- производственные требования
 - материалы: требования к материалам, используемым в производстве.
 - сертификация: необходимые сертификаты соответствия стандартам безопасности и качества.
 - производство: условия производства, включая сборку, тестирование и контроль качества.

дополнительные требования:

- документация: перечень необходимой документации (руководство пользователя, схемы сборки, инструкции по эксплуатации и обслуживанию).
- обучение персонала: план обучения операторов и техников.
- гарантии и обслуживание: условия гарантийного обслуживания, сроки замены комплектующих.

Заключительным этапом следует подтверждение готовности разработчика, принять данное техническое задание и приступить к работе над проектом.

Рекомендуется провести анализ аэродинамических систем имеющих минимальное число элементов, не участвующих в создании подъемной силы, для выбора оптимальной. Подходящими к заявленным требованиям являются БПЛА аэродинамических систем «бесхвостка» (самолет без горизонтального оперения) и «летающее крыло» (самолет, не имеющий не только оперения, но и фюзеляжа). Результатом создания БПЛА с улучшенными характеристиками, становится появление аэродинамической системы «утка». Каждая из этих аэродинамических систем имеет свои сильные и слабые стороны, и выбор конкретной системы зависит от целей и задач, стоящих перед БПЛА.

Рекомендуется выбирать из трёх типов аэродинамических схем – «бесхвостки», «летающего крыла» и «утки» –лучшие возможности и синтезируем их в одну.

Интегральная конструкция

Интегральная конструкция — это инженерно-технический подход, при котором несколько функциональных элементов объединяются в одно целое таким образом, что они работают совместно как единая система. Этот метод проектирования на данный момент времени популярен во многих отраслях. Интегральная конструкция является важным шагом вперед в развитии технологий, позволяя создавать более эффективные, экономичные и долговечные продукты и системы.

Основные характеристики интегральной конструкции:

1.Единое целое: все элементы конструкции объединены в одну систему, где границы между отдельными компонентами стираются. Это позволяет улучшить взаимодействие между частями и оптимизировать их работу.

2.Комбинирование функциональных блоков: аппарат состоит из независимых модулей, каждый из которых выполняет свою задачу (например, двигатель, электроника, навигационные системы), но эти модули объединены в общую структуру, обеспечивая оптимальную аэродинамическую форму и распределение нагрузки.

3.Гибкость и адаптация: возможность легкой замены или добавления модулей позволяет адаптировать аппарат под различные задачи. Например, при необходимости можно заменить камеру на другую модель с лучшими характеристиками или установить дополнительный датчик.

4. Унификация компонентов: стандартные модули могут использоваться в разных проектах, что снижает производственные издержки.

5. Снижение веса: использование интегрального подхода позволяет уменьшить массу изделия за счет устранения лишних соединений и промежуточных элементов.

6. Повышенная прочность: интеграция элементов способствует равномерному распределению нагрузки, повышая общую прочность конструкции. Как результат: изделие становится более устойчивым к внешним воздействиям.

7. Улучшенные эксплуатационные характеристики: оптимизированная конструкция обеспечивает лучшие аэродинамические показатели, меньшую вибрацию, улучшенную управляемость и устойчивость к износу.

8. Экономия ресурсов: Снижение числа деталей и уменьшение сложности производства приводит к снижению затрат на материалы и трудозатраты. Кроме того, уменьшается время сборки и монтажа.

9. Простота обслуживания: из-за сокращения количества отдельных узлов и соединений облегчается доступ к основным элементам конструкции, что ускоряет диагностику и ремонт [9].

Одним из вариантов совершенствования конструкции рассмотрим проектирование модульной конструкции БПЛА, состоящей из двух частей: верхней и нижней, выполненных по типу интегральной конструкции [6].

Где верхняя часть характеризует собой основание с расположенными продольными зубьями в половину тела основания, а нижняя часть представляет собой вкладыш с расположенными на нем поперечными зубьями, выполненными также в половину тела. Регулировка дальности полета БПЛА с модульной полезной нагрузкой достигается возможностью быстрой смены батарей, а интегральность конструкции крыла и фюзеляжа обеспечивает необходимую грузоподъемность и эффективность.

Технический результат: получение облегченной, технологичной интегральной конструкции беспилотного летательного устройства, выполненного из композиционного материала по технологии методом RTM (ResinTransferMolding), производства композиционных изделий на основе пропитки армирующего материала термоактивным связующим и вакуумной инфузии. При формовании используется связующее как холодного, так и горячего отверждения. При сборке конструкции модели БПЛА верхнюю и нижнюю части соединяют по средством сцепления продольных и поперечных зубьев, расположенных на основании и вкладыше, методом увязки в монолитную конструкцию. Места соприкосновения верхней и нижней частей (зубьев основания и зубьев вкладыша) промазывают клеем (ВК 40, ЭД 20). Для лучшей увязки возможно использования струбцин для обеспечения жесткой сцепки. После отвердевания получается конструкция модели БПЛА самолетного типа «утка».

Встроенные внутри конструкции ячеистые отсеки, обеспечивают упрочнение агрегата, одновременно позволяя размещать в полостях различное техническое оборудование и радиооборудование (батареи питания для двигателя, приемопередающая аппаратура, аппаратура наведения и ориентации в пространстве, аппаратура управления органами управления БПЛА и др.) Для увеличения технических возможностей при использовании данной интегральной конструкции, следует рассмотреть возможность использования «утки» как дронавианосца для транспортирования более легких и мелких дронов (БПЛА).

Выбор, произведенный в пользу проектирования модульно – интегральной конструкции объединяет два основных подхода к проектированию и производству технических систем: модульный и интегральный. Сочетает в себе достоинства обоих методов, создавая системы, которые обладают высокой степенью гибкости, надежности и эффективности. Данный вид конструкции БПЛА представляет собой сбалансированный подход, сочетающий гибкость и универсальность модульной архитектуры с прочностью и эффективностью интегральной конструкции. Проектирование по данному методу позволяет получить высокопроизводительные и адаптируемые аппараты, подходящие для широкого спектра задач, от коммерческих до гражданских.

Испытания

Проведя всесторонний обзор и анализ данной и желаемой конструкции, была составлена Матрица целевых показателей и ресурсных ограничений. На основании этой матрицы были созданы математические и цифровые модели, которые были выполнены на ПО типа Ansys и Fidesys. Математические модели испытываются и отлаживаются в процессе моделирования на SimulinkMatlab 2022. Испытания конструкций БПЛА проводятся на базе прикладного ПО типа Ansys или Fidesys, реализующего в себе многопараметрический подход и единственность решения на этапах предварительного и эскизного проектирований, позволяет совершенствовать процесс и выявлять недочеты конструкции на этапе проработки. Моделирование и анализ конструкций БПЛА позволит избежать дорогостоящих и длительных циклов изготовления.

Также использование ПО позволит просчитывает возможные риски при конвертации модульной конструкции. В процессе тестирования видоизменив раму дрона, мы можем из пентакоптера сделать трикоптер, или наоборот и просчитать его параметры.

Заключение.

В ходе выполнения данной работы, были сформулированы рекомендации и акцентированы наиболее важные аспекты при проектировании интегральной конструкции летательного аппарата, выполненного из композиционного материала по типу модульной конструкции. Аппарат, спроектированный на основании описанных рекомендаций, представляет сбалансированный подход проектирования,

сочетающий гибкость и универсальность модульной архитектуры с прочностью и эффективностью интегральной конструкции. Условия статического и динамического равновесия будут достигнуты за счет равномерного распределения массы и сил относительно центра тяжести планера. Для выполнения аэродинамических требований будут сведены к минимуму выступы на поверхности планера, создающие обратные аэродинамические силы. Расчет всех параметров исполняется в ходе математических вычислений и будет подкрепляться летными испытаниями опытной модели.

Предложенное изготовление из композитного материала приведет к снижению коэффициента отражения от поверхности и веса БПЛА, сильно снизится вероятность его обнаружения радиолокационными устройствами, а также средствами акустического и визуального обнаружения вследствие использования бесколлекторных электродвигателей и окраски планера в небесно-голубой цвет.

Список литературы

1. Патент на полезную модель №228450 Интегральная конструкция беспилотного летательного аппарата самолетного типа. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «ульяновский государственный технический университет». Авторы: Трубякова Е.М., Кошкина А.О., Дмитриенко Г.Г., Матвеева Т.Ю., Кирюхина Е.А.
2. Филин Е.Д., Киричек Р.В. Методы обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов на основе анализа электромагнитного спектра // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Т. 6. № 2. С. 87–93.
3. Савельев Л.М., Ахмедьянов И.С. Прочность летательных аппаратов. Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. унт им. С.П. Королева. Самара, 2012. 274 с.
4. Комаров, В.А. Автоматизация проектирования авиационных конструкций: учебное пособие / В.А. Комаров // Самарский государственный аэрокосмический университет, Самара, 1993. – 72 с. 7. Чистяков Н.В., Силкин А.А., Павлов Ю.А. Разработка беспилотных летательных аппаратов для аэрофотосъемки и мониторинга местности // Доклад на симпозиуме «Неделя Горняка – 98». М., МГГУ. С. 1–4.
5. Пашаев А.М., Гасанов А.Р., Набиев Р.Н. Искендеров И.А. Структурная модель системы бесконтактного определения веса и центра тяжести воздушных судов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. С. 156–167. <https://doi.org/10.23683/2311-3103-2018-3-156-167>
6. Jones, Robert M. Mechanics of composite materials / Robert M. Jones // 2nd edition, Taylor & Francis, 1998. – 519 p.
7. Bendsoe, M.P. Optimal shape design as a material distribution problem /

M.P. Bendsoe // Structural optimization, Iss. 1, 1989. – pp. 193–202.

8.Комаров, А.А. Основы проектирования силовых конструкций / А.А. Комаров // Куйбышевское книжное издательство, 1965. – 88 с.

9.Комаров, В.А. Проектирование силовых схем авиационных конструкций / В.А. Комаров // Актуальные проблемы авиационной науки и техники. – Москва: Машиностроение, 1984. – С. 114–129.

10.Программный комплекс IOSO NM. – URL: <https://giga.chat> (дата обращения 02.02.2025)

УДК 621.981

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ 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 вопросу повышения качества профилей для изделий различных отраслей народного хозяйства. Автор решает задачу выбора оптимального способа изготовления профилей по требуемым показателям качества.

Ключевые слова: качество, показатели качества, профиль, профилирование, метод интенсивного деформирования, стесненный изгиб, традиционное профилирование

METHODS TO IMPROVE THE QUALITY INDICATORS OF BENT SHEET 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 issue of improving the quality of profiles for products in various sectors of the national economy. The author solves the problem of choosing the optimal method for producing profiles according to the required quality indicators.

Key words: quality, quality indicators, profile, profiling, intensive deformation method, cramped bend, traditional profiling

Важной проблемой при производстве изделий различных отраслей народного хозяйства является получение высоких и обоснованных показателей качества [1,2,3], как самого изделия, так и входящих в него деталей, в нашем случае гнутолистовых профилей полученных с помощью профилегибочных станков (традиционное профилирование, метод интенсивного деформирования, стесненный изгиб) [4,5,6]. Для решения данного вопроса рассмотрим, что такое качество, пути и способы его повышения.

В последнее время понятие качество прочно вошло в обиход науки, производства, потребителя. Освещению данного вопроса посвящено множество монографий, статей и т.д. Понятие «качество» имеет более сотни значений. Это связано с тем, что оно развивалось на стыке философии и материального производства.

Мы рассмотрим последний этап развития качества. На данном этапе повысились требования и потребности потребителя. Соответственно выдвигаются требования по документации (ГОСТ, ОСТ, техническое условие, техническое задание, чертежи на изделие и т.д.). А также добавляются требования по надежности, технологичности, эстетичности и т.д. То есть имеем совокупность составляющих.

Путь повышения качества продукта заключается в количественной оценке (предварительной и последующей) изменения качества продукта (исходного и последующего), что является областью деятельности науки квалиметрии. Это важный фактор в реализации продукта на всех этапах его рождения: техническое задание, техническое условие, рабочий проект, опытный образец, серийное производство. С другой стороны, при неправильной оценке и необоснованного повышения качества продукта по некоторым показателям, предприятие понесет убытки из-за соотношения “цена – качество”, в связи с малым спросом на свою продукцию.

Для решения поставленного вопроса проведем анализ технологической цепочки производства гнутолистовых профилей в профилегибочных станах и способы повышения их показателей качества. В области материального производства профилей имеем несколько технологических этапов:

1. Получение заготовки (штрипс, лента).

При этом качество характеризуется следующими показателями: расчетные, статистические показатели – линейные параметры (ширина), параметры формы (саблевидность, кромковая волнистость, заусенец по торцам и т.д.); эстетические, органолептические показатели (сдир, потертости покрытия и т.д.).

Способы повышения показателей качества на данном этапе: изменение геометрических параметров зоны резки (диаметры дисковых ножей); оптимизация скоростного режима резки; замена материала для дисковых ножей и т.д.

2. Получение профилей в профилегибочном стане.

При этом качество характеризуется следующими показателями: расчетные, статистические показатели – линейные параметры (ширина, высота полок и т.д.), угловые параметры (угловые размеры между полками), параметры формы (саблевидность, кромковая волнистость, гофра и т.д.); эстетические, органолептические показатели (сдир, потертости покрытия и т.д.).

Способы повышения показателей качества профилей осуществляются через применение достоверных теорий с дальнейшим правильным расчетом:

зона плавного перехода;
радиусыгиба уголкового зоны профиля по переходам;
заходные радиусы роликового инструмента и т.д.

3. Правка получаемых профилей.

При этом качество характеризуется следующими показателями: расчетные, статистические показатели (линейные параметры (ширина, высота полок и т.д.), угловые параметры (угловые размеры между полками), параметры формы (саблевидность и т.д.));

Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России

эстетические, органолептические показатели (сдир, потертости покрытия и т.д.).

Способы повышения показателей качества профилей осуществляются через применение:

оптимальных конструкций правильных устройств;

выбор вида правки (правка профиля во время профилирования (в потоке), правка профиля после профилирования).

4. Отрезка получаемых профилей при прокатке из штрипса (рулон).

При этом качество характеризуется следующими показателями:

расчетные, статистические показатели (линейные параметры (длина профиля; ширина / высота полок по концам профилей), угловые параметры (угловые размеры между полками по концам профилей), параметры формы (саблевидность по концам профилей));

эстетические, органолептические показатели (сдир, потертости покрытия и т.д.).

Способы повышения показателей качества профилей осуществляются через применение оптимальных конструкций отрезных устройств и оснастки.

Для наглядности и упрощения работы сведем в таблицу 1 показанную взаимосвязь технологических этапов производства гнутолистовых профилей со способами повышения показателей качества.

Таблица 1

Взаимосвязь технологических этапов со способами повышения качества

	Технологический этап	Способы повышения качества
1.	Получение заготовки	1.1. Изменение диаметра дисковых ножей
		1.2. Оптимизация скоростного режима резки
		1.3. Замена материала для дисковых ножей
2.	Получение профилей в профилегибочном стане	2.1. Расчет зоны плавного перехода
		2.2. Расчет радиусовгиба уголкового профиля по переходам
		2.3. Расчет заходных радиусов роликового инструмента
3.	Правка получаемых профилей	3.1. Выбор вида правки
		3.2. Применение оптимальных конструкций правильных устройств
4.	Отрезка получаемых профилей	4.1. Применение оптимальных конструкций отрезных устройств
		4.1. Применение оптимальных конструкций отрезной оснастки

Методика повышения качества профилей заключается в правильном подборе вышеописанных способов и последующих расчетах на предварительной стадии проектирования. А также, при необходимости, в

корректировке на следующей стадии отработки и запуска профилегибочной линии. Это важный фактор в реализации продукта на всех этапах его рождения – от технического задания до серийного производства. При неправильных действиях предприятие понесет убытки из-за соотношения “цена – качество”.

Таким образом, проходя по цепочке “технологические этапы производства гнутолистовых профилей”, при этом рассматривая требуемые “показатели качества” и произведя выбор “способов повышения показателей качества” мы проводим оценку, обосновываем рекомендации, принимаем решение для оптимального соотношения “цена-качество” и тем самым решаем вышеозначенную проблему.

Список литературы

1. Мазур, И.И. Управление качеством [Текст] / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро. – 2-е изд. – М.: Омега-Л, 2005. – 400 с.
2. Гиссин, В.И. Управление качеством продукции [Текст] / В.И. Гиссин. – Ростов н. / Д.: Феникс, 2000. – 256 с.
3. Розова, Н.К. Управление качеством [Текст] / Н.К. Розова. – СПб.: Питер, 2002. – 224 с.
4. Колганов, И.М. Процессы стесненного изгиба при различных методах формообразования [Текст] / И.М. Колганов. – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – 108 с.
5. Филимонов, В.И. Разработка процессов интенсивного формообразования листовых заготовок в роликах при производстве гнутых профильных деталей на основе моделей механики деформируемого твердого тела [Текст]: дисс. докт. техн. наук: 05.03.05., 01.02.04 / Филимонов Вячеслав Иванович. – Ульяновск, 2004. — 550 с.
6. Тришевский, И.С. Производство и применение гнутых профилей проката [Текст] / Под ред. И.С. Тришевского. – М.: Металлургия, 1975. – 536 с.

Секция 4

**«Гуманитарные науки
в авиационно-космических
технологиях»**

УДК111.1

ПЛАТОН, АРИСТОТЕЛЬ, ДРЕВНЕВОСТОЧНАЯ МЫСЛЬ О МЕТАФИЗИКЕ ЗЕМЛИ И ВСЕЛЕННОЙ

Марковцева О. Ю.

Д. филос. наук, директор Центра социально-этнических исследований (НИИ «МИТОМ»), г. Ульяновск

Аннотация. Описываются общие научно-философские идеи мыслителей древнего времени о создании, устройстве или природе вселенского масштаба. Земля как планетарный «субъект» общей структуры вселенной, также является генератором интересов Античной мысли цивилизаций различных народов. В статье представлены такие первичные, фундаментальные понятия-концепты (слова) данной тематики как «Небо», «Земля», «Место», «Движение», «Пространство», «Время» и другие. В работе дан сравнительный анализ идейным подходам к рассмотрению тех или иных вышеотмеченных феноменов, имеющих место в философии древней Греции (Платон, Аристотель), древне-философской культуре Востока (Индия, Китай).

Ключевые слова: метафизика Земли, Вселенная, космос, Человек, социум, движение, универсальные законы.

PLATO, ARISTOTLE, ANCIENT ORIENTAL THOUGHT ON THE METAPHYSICS OF THE EARTH AND THE UNIVERSE

Markovtseva O. Yu.

Doctor of Philosophy, Director of the Center for Socio-Ethnic Studies (MITOM Research Institute), Ulyanovsk

Abstract. The general scientific and philosophical ideas of the thinkers of ancient times about the creation, structure or nature of the universal scale are described. The Earth, as a planetary "subject" of the general structure of the universe, is also a generator of the interests of Ancient thought of civilizations of various peoples. The article presents such primary, fundamental concepts (words) of this subject as "Sky", "Earth", "Place", "Movement", "Space", "Time" and others. The paper provides a comparative analysis of the ideological approaches to the consideration of certain of the above-mentioned phenomena occurring in the philosophy of ancient Greece (Plato, Aristotle), the ancient philosophical culture of the East (India, China).

Keywords: Metaphysics of the Earth, Universe, cosmos, Man, society, movement, universal laws.

Тема «Метафизика Земли», вопрос о её природе, сущности, не может не затронуть более широкую проблематику о метафизическом обосновании космоса, вселенной. Начиная с античных мыслителей, данная тематика всегда была актуальной, актуальна она и в наши дни. Научная мысль активно развивается, однако ясно описать образ устройства вселенной, её космоцентрический характер до сих пор остаётся проблемой проблем. Учитывая сказанное, плодотворно пересмотреть взгляды античных мыслителей на заданную тему многоаспектно, с учётом данных современных наук, а также доказательств других мировоззрений, проверенных временем. Что значит «проверенных временем»? Значит учитывать тот опыт, когда люди издавна успешно применяют некоторые

знания в своей повседневной практике. Следовательно, данный гносеологический уклон стал традиционным в текущей исторической практике народов. И другое – знания о вселенном макрокосмическом устройстве отчасти обоснованы математическими расчетами, геометрическими показателями народов древних цивилизаций. Математизация как вид различных методологий применялась на Востоке (Персия, Иран, Индия, Китай), у греческих мыслителей (Пифагор, Платон, Аристотель, Зенон Элейский).

Начнём с работы Платона «Тимей, или о природе». В её текстах представлено описание того, «каким образом» возникали основные структуры мироздания, базовые характеристики, принципы функционирования природы вселенной, её локальных «частностей». Эти аспекты обнаруживаются в активных структурах, к примеру, Солнечной системы, планеты Земля, а также человека как своеобразные «частности» общего бытия мироздания. Среди собеседников указанного выше диалога находится Тимей – астроном, исследователь макро-и-микроструктурной природы вещей. По его словам, он стремится к единственной цели – научно описать «рождение космоса и природу человека». Рассуждения Тимея начинаются с тезиса: «надо различать, что́ всегда существует и никогда не происходит и что́ всегда происходит, но никогда не существует» [5; 977], здесь мы добавим – в качестве завершённого и совершенного. Данная диалектическая теза касается тождества актуального плана в виде непосредственно или спонтанно чего-либо «существующего и происходящего». Следовательно, то, что существует «само по себе» без сторонних вмешательств – есть то, что происходит или становится так же – «само по себе» и не может не существовать без этих соответствующих условий. Метафизико-диалектическая связь обоюдной демонстрации происходящего есть как наличность «всегда чего-то существующего». К примеру, всегда есть небо, космические объекты, структурности вселенной и т.д. Динамичным, неуловимо изменчивым образом видится всё то, что актуально происходит в данный промежуток времени. Такой «момент» самостоятельным образом не существует, ибо он всегда подвергнут изменениям, трансформациям, «сам-по себе» непостоянен – то разрушается, то вновь создается в актном или цикличном периоде. К примеру, погодные условия имеют неустойчивый характер, потому что зависят от сочетания многих таких же неустойчивых факторов. «Поведение» Солнца, Солнечной системы также сложно предсказать. Имеется ли единая показательная формула как общая форматная модель «существующего-и-становящегося» в виде неизменного и вневременного? Адекватна, тождественна ли она всегда только самой себе? Если ответ «да», то только однажды, когда есть комплексные условия *причин* постоянных рождений и перерождений «предметных» форм в как необходимая причина и её последствия. Здесь речь идёт о спонтанном автоматическом показателе связей, которые кажутся каузально зависимыми или, скажем по-другому, речь о причинно-

следственных изменениях. К примеру, чтобы на Земле наступила ночь, необходимо, чтобы наша планета в своём привычном планетарном движении заняла в космологическом логосе определённое местоположение, и другие космообъекты также совершили бы свои необходимые действия. Или другой пример, взятый из древнеиндийской антропологической культуры. Здесь иллюстративным материалом может служить миф о «Пуруши» (Ригведы). Эти очень первоисточники человеческих знаний заключены в мифологические формы описаний создания вселенной, её космической действительности. «Пуруша» – единый образ-образец Человека – в текстах Ригвед показан «технически». «Пуруша» создан как структурно-матричная «вещь», как особая телесная материальная копия последующих тиражирований её данных, состоявшихся в идентично-типических индивидах. Какими словами, образами можно описать это начальное «начало», эту единую «копию» копий? «Пуруша» – лишь условие-образ, который следует воспринимать не буквально, а, словно идею о возможности «быть» человеку в вариативном множестве. Такая человекоподобная «модель», «технологически» подвергалась трансформациям. В итоге структурировалась видовыми качествами человека как мыслящего существа. О каких качествах идёт речь? К примеру, биологическая устойчивость, приспособляемость к внешней среде, к условиям места проживания, интуитивная и рациональная способности мыследеятельности и другие. В Ригведах подобная трансформация от несовершенного к более крепкому, развитому, прочному мифически описана в виде «сборника процедур» образования единого завершённого образа Пуруши (Человека) из семи пробных начальных несовершенных пуруш. «Пуруша» как единый композит способен являть себя в культурно-исторических контекстах по-разному: этнически, цивилизационно, социально, персонально-личностно. В общественно значимых, массовых параметрах индивид становится существом конечным в отличие от «Пуруши» – устойчивых условий всех его возможных трансформаций. «Пуруша» – контент континуально-вселенского содержания. В таком значении он бесконечен. Что такое бесконечность? Аристотель в работе «Физика» отмечал, что бесконечное – это то, что «всё охватывает, всё объемлет, всё заключает в себе», или – «то, вне чего всегда есть что-нибудь» [2; 56-57].

Следовательно, «Пуруша» как смыслообразная Идея (эйдос) человека как некоторая матричная структура Бытия вселенной, он конечен (заверщён) в вариативных способах его материально-чувственных воплощений.

Однако приглашаю вернуться к ещё одному начальному тезису: Вселенная создана «Творцом», тогда Вселенная представляется как реалья, созданная «по образу и подобию» *Зиждителя*. [5; 978]. Полученный вид смыслового контента Вселенной обладает такими характеристиками и качествами, как обожествлённая самотождественность, ибо Вселенная как

«сама-в-себе-данность» не только то, что темпоральное «было-есть-и-будет», но и самодостаточна, целостна во временном параметре волеизъявлений всех заключённых в ней возможных осуществлённых и потенциальных существований. Они проявлены в материально-природных мирах планет, звёздных порталах и прочих «складках» существующего сущностного материала. В их наличных субстратных веществах, элементах протекает актуальная жизнь разнообразных форм. В них предусмотрена динамика возможных трансформаций как переходные кривые в иные данности единого фрактального универсализма вселенной. Что такое здесь фрактальность как характер, параметр вселенской уникальности? В самом общем виде фрактальность «процедура», способ устройства, мысль о бесконечности всего данного как материальное многообразие. Оно представлено в виде свёрнутой вложенности «одного-в-другое», как некий закрученный внутри себя разнопараметровый материал, который носит семиотический характер. Он дан вербально в словах, иных знаках, жестах, интуиции – любых семиотических способах, рассказывающей о себе вселенной. Она рассказывает не сокрытым образом, образно изображая себя то здесь, то там в распределённых по фракталам своих содержаниях. Вот пример из лингвистики: в русском языке много слов, заимствованных из языковых культур других народов. Часто мы не всегда знаем, из каких национально-культурных фракталов иммигрировали те или иные слова, выражения. Получается, что русский язык – актуальный фрактал – в нём скрыты аналогичные элементы других лингвистических наличностей. В таком своеобразном частном словесно-образном портале вселенский универсуме демонстрирует характер тотальной лингвистической структурной упорядоченности. Вербальность – вот что главное в материале того, что о себе «говорит» непосредственно, «не сокрыто», явлено. Если вселенная носит тотальный информационный характер, то она организована по принципу «всё тотально информационно – в одной данности чего-либо, и одно информировано обо всём». Только так можно представить себе универсум как единое завершённое самодостаточное разом (одновременно) чувственно и интеллектуально зримое. Или скажем образом Платона – как гигантский организм или «живое существо, наделённое душой и умом», оно – «одно совершенное животное, заключающее в себе всё животное, всех мыслимых животных». [5; 979]. Этот тотально развёрнутый живой мир афинский философ образно называл «Небо».

Понятие «Небо» в культурах древних народов (Греция, Индия, Китай).

«Небо», по мнению Платона, – это единый материально-телесный, бесконечный «макрокосмос» [Там же]. Согласно философско-астрологическим представлениям индусов, напротив, «Небо» – это *предел*, который может познаваться человеком в достигаемых для него границах. «Нам достаточно знать то пространство, которого достигают солнечные лучи, и нам нет нужды в том, куда они не добираются, хотя бы оно было

очень велико само по себе. То, до чего не достигают солнечные лучи, не может быть познано чувственным восприятием, а не доступное чувству, не может быть познано.» [Цит. по 3; 217]. Но если брать во внимание, что вселенная фрактальна, то локальность может демонстрировать недостижимую удалённость от человека того, до чего не достаёт его познавательная ограниченность. Индусы также полагали, что форма неба круглая, делится на семь уровней: на первом находится Луна (в их представлениях Луна – спутник Солнца, а не Земли); на последующих уровнях – светила, которые были известны в тот период истории. Солнце, вероятно, или сверхуровневая, или междууровневая структура. В «Ригведах» описывается акт сотворения вселенной, которая именована «Вайшванары». Каковы её характеристики? Вселенная – это «опора», особого рода «место», «пространство», наполненное водой, воздухом, светом. Возвышается над вещественными структурами «голова Вайшванары» – интеллектуальный орган, продуцирующий мысли (óсмыслы). Относительно человека [в этом культурном фрактале] «Небо» дополнительно наделяется цветовой гаммой – «оно кажется лазурного цвета». В древней астрологии индийцев смысловая константа неба соотносилась с планетой Юпитер, а Юпитер, в свою очередь, помечался символом «небо». Важно, что данный «астрообъект» имел смысл «учитель богов» (именовался Гуру), также – «жрец» (Девапурахита), «советник богов» (Девамантрин). [3; 609]. «Небо» – вместилище существующих индуистских богов.

В древнекитайской культурологии идея «Небо» как готовый смысловой образ не существует, данная идея непосредственно, повседневно связана с социальными преобразованиями, традициями этого народа. В таком понимании используются понятия «поднебесное» и «земля». С точки зрения Лао Цзы, *между* небом и землёй, находится особого рода «пустота»: «Чем больше в нём пустоты, тем дольше он действует, чем сильнее в нём движение, тем больше из него выходит ветер.» [1; 608]. Согласно Конфуцию, «поднебесное» – всё то, что «охватывает небо». К примеру, планета Земля – под небесами. В древнем китайском мировоззрении «очень часто мироздание сравнивается с колесницей *под* балдахином. Балдахин круглый и символизирует Небо, Земля представляется как прямоугольная повозка, в которой находится её хозяин. Вождь колесницы стоит впереди, под краем балдахина. Словом «сянь», обозначающим это место в колеснице, так же называется и то место в приёмном зале, где должен находиться государь при встрече со своим двором. Говоря, «Земля носит, Небо прикрывает, имеют в виду не только дом, но и колесницу.» [4; 236]. Таким образом, всё, что мыслится как «прикрытое Небом»: Земля, мифический Хозяин колесницы, Сын Солнца, который воплощён в социальном индивиде суть главные избранные структуры поднебесья.

Почему мы уделяем подробное внимание разным воззрениям древних народов о идее (феномене) «Небо»? Во-первых, во все времена человек, с

удивлением и глубоким любопытством, охваченный беспокойством какой-то странной интуицией, всматривался в небо. Он во все времена вопрошал относительно наличия всего перед ним развёрзнутого, далёких и близких связей, движений планет, звёзд, общего головокружительного пространства мироздания. Небо всегда привлекало человеческую мысль. Народы ранней научно-культурологической мысли – по-своему, мифологически-образно осмысливали, находили другие способы для описания перед ними явленного космогонического мира, куда Земля имманентно включена как особая планета жизни, занимающая своё уникальное место, имеющее уникально-универсальное значение. А как в этой глобальной проекции пред-дан человек? «Небо и Земля не обладают человеколюбием, – писал Лао Цзы, – и представляют всем существам возможность жить собственной жизнью». Китайский философ подчёркивал, что «Человек следует законам земли, земля следует законам неба, небо следует законам Дао.» [1; 615]. Законы Земли в структурах космических, вселенских законов получают реализацию согласно субстратным наличностям планеты. Какие? Платон, (диалог «Тимей») описывает первичные три вещественные, субстратные структуры материального плана планеты Земля. Почему «три» и какого они качества? Пояснения философа: нечто в космическом порядке нашей планеты образовано из двух противоположностей – огня и земли (субстратные вещества). Что значит – субстрат? Это «то, из чего» сделано нечто, некоторое «вещество», Они сами по себе, а в диалектическом удвоении тем более – обладают определённой направленной силой, тенденцией, энергией к процессу становления чего-либо, именуемого затем словом «что». К примеру, создавать, рождать, разрушать, изменять вещи и т.д. Они имеют естественно-природные границы своих материальных форм. При этом действует также механизм (закон/закономерность), который словно бы наполняет локальную вселенскую «пустоту», живой «вакуум» конкретным субстратным материалом. Их единая форма содержательна субстратом, и называется кратко «то, что». Эта универсальная формат-структура в силу своей материальности – сама качественно подвижна, постоянно находится в метаморфозных состояниях непосредственном движении, специфических изменениях. На такие постоянные «перемены», неповторимую «текучесть» указывал Гераклит Эфесский, он говорил, что «нельзя дважды войти в одну и ту же реку». Тогда эта универсально-материальная форматное первовещество, сложная структура, с одной стороны, становится как будто бы «простотой» имманентно сплетённого целостного «пучка» материального единства, как естественная формосвязь одного с другим, другого – с остальным. *Их третья уже* общая структурная наличность – то, что обеспечивает при само-собой происходящих тотальных изменениях всё-таки возможную стабильность, устойчивость, незыблемость, нераздельность первого, второго, а также всего иного, что является их общими скрытыми аналогами. В такой триединой сущностной минимальной сцепленности перечисленных выше частных всплывает на

поверхность повседневного существования особо видимая «причинно-следственная» пропорциональность. О чём здесь идёт речь? Поясним на примере. Такой вид каузальной связанности описан в диалоге «Тимей»: «Ведь когда из каких-либо трёх чисел, либо кубических, либо площадей, среднее относится к последнему так же, как – первое к нему самому, и наоборот, последнее относится к среднему как среднее к первому, причём среднее становится первым и последним, а последнее и первое, в свою очередь, средним, – в таком случае все по необходимости окажутся тождественными, а, став тождественными одно другому, образуют все вместе одно» [5; 979]. Подобная структурно устроенная микротелесная «жизненная форма» взаимовлиятельным образом удерживается однородным «средним» веществом – «вода»-и-«воздух», – говорит Аристотель. Он проясняет логическую «причину» появления этого триединой элементности материальной органики по-своему: вода – материя воздуха, а воздух как бы её действительность. Вода и как материя, и как чувственная действительность дана в двойной возможности – в одновременном акте тактильной актуализации двух противовекторных субстанций (огонь-и-земля). «Все взаимодействующие части целого – разные сами по себе, но становятся едиными в деятельности». [2; 67 – 69]. Гораздо позже, в современную эпоху научных достижений, Э. К. Циолковский, рассуждая о материальности космоса, утверждал, что «всё зависит от вещества в своей совокупности». [6; 157]. Так, трансформации любого масштаба устраняют спонтанный хаос, когда имеется её определённая целеустремлённость, направленность на «результат».

Такие, базовые качественно-количественные связи, показатели представлялись начальным мыслителям в виде совокупности стихий, таких как огонь, земля, вода, воздух, эфир, ветер. Из них составлен общий субстратный спектр живых организмов, а также возможное их разнообразие в *циклической* пространственно-временной жизнедеятельности. Такова, представляли себе начальные мыслители, наполненная наличность именно «своим» космоцентрическим содержанием в безграничном космосе вселенной. Цикличность имеет круговращательный характер, то есть космические вещи, объекты по-своему геометричны.

«Круговращение» как принцип движения космоса, вселенной.

Круговращение или к ругообращение порядка космоса – специфический вид *движения*. В целом макрокосм задан геометрией «шара». Об этом говорили и писали многие философы, мыслители различных эпох. К примеру, средневековый учёный Н. Кузанский в работе «Игра в шар».

«Шарообразным» принципам подчинена совокупность материальных предметов, «объектов», артефактов, других подобных феноменов. Круговращательными также могут быть организованы движения духовных явлений. Скажем, «карма» – способ, механизм, устроенный по принципу повторений одного и того же действия, но различного содержания в

жизненных циклах людей. Мысль, идею можно образно представить себе в виде шара, ведь смысловые феномены находятся в кольцеобразной или спиралевидной границе своих содержаний.

Метафизика круговращения связана с понятием-идеей «место», ведь находиться и совершать при этом движения можно в предельной точке, *где-то* находящейся. Подчеркнём, не «в чём-то», а в каком-то качественном «где». Речь идёт о такой материальности предмета, множественности, которые, двигаясь по своей отведённой траектории, не покидают при этом *местных* границ. В этом случае можно сказать, что такой феномен «активен в пределах», стабилен свободой своего первоначального положения. То, что двигается в мере «направленного круговращения», носит «орбитный» характер. Что это значит? Это значит условный «объект» и его внутренние нераздельные структурные частности фактически пребывают в одном местоположении. Они двигаются как бы на месте, не покидая своих ограничений. «Место» измеряется многими показателями, среди них – скорость. Данный показатель может быть описан понятиями: «удалённость от...», «приближенность к...», «справа», «слева», «впереди», «сзади», «с боку» и другими, а также может быть соотнесён с «поясом числового времени». Открывшиеся здесь временные порталы (складки) – многовременны, демонстрируют принцип «отдалённости-приближенности». Фактически имеются в виду своеобразные векторы, направленные в беспределы космических движений. Та или иная возможная самостоятельная скорость движения, скажем, скорость вращения Земли вокруг своей оси, она связана со скоростями своего орбитного перемещения. Во вселенной содержатся, затем обнаруживаются скоростные ходы, возможным достижимым образом организованные в её пределах.

Все сущности, воспринимаемые антропологически – это феномены-порталы, маргинально находящиеся словно бы в «разломах» вселенной. Это своеобразные «ходы», «переходы» «от...» «к...». Так, индивид, находящийся на заре становления своего духа, преклонялся то родовому животному, то божествам, то единому Богу, совершая интеллектуальные «прыжки», переносящие его в иные порталные условия – другого качества, измерения, смысла, духовного восприятия и переживания. Их проявленное смысловое «тут» и не проявленное вовсе как небытие также распределены маргинально. Как это понять? «Складка» имеет сторону, скрытую от прямого восприятия и также такую, которая «с виду». Поэтому маргинальные сущности, не имеющие жёсткую границу, с одной стороны, приходят как не сокрытое для способов восприятия, а с другой – они вовсе не доступны, ибо не затрагивают чувства, уходя в корневище Бытия. Там нет времени, поэтому и нет способов материального восприятия. В очевидно-визуальной же действительности. жизненной позиции как совокупности границ возможных разломов, имеется «здесь» как «между». К примеру, выражение «между небом и землёй». Но самостоятельно, вне лингвистики «между» не существует (это только смысл), ибо космос

вселенной так же, как и вселенная космоса заявлены тождественно друг другу. В таком режимно-временном портале (к примеру, той или иной цивилизации, культуры) могут развёртываться или сворачиваться свои специфические свойства, ракурсы, явления другие порталные условия. Для этого человеку достаточно поменять методы видения, создать новую модель понимания, проект вновь увиденного иного предметного порталного региона. Поменять «угол зрения» – процедура неразрывной связанности всего, данного в порталных «органах» времени. Здесь обнаруживается некоторая «закономерность», Платон описывает её: «первое рождение будет установлено одно на всех, чтобы не было... уничтожено, надо, чтобы, распределившись по органам времени, какой каждый соответствует, они произвели богопочтительнейшее из животных...». [5; 985]. В данном теисе Платон указывает на способное качество рождённого, названного «одно на всех». Ради сохранения всего этого созданного материала космогонического порядка вселенной, необходимо, чтобы возникла некая форма-условие-место (сложно устроенная наличность), названная нами «пространство-время-движение». В многообразии её ходов, пределов, циклов, которые по характеру – мобильны, маргинальны в фрактальных возможных чему-либо «быть» предельно компактно распределённым разом, единорождённым не зависимо от его специфических качеств и характеристик. Такое уникальное, предельно сжатое Бытие и Сущность всего наличного структурированного материала приобретает сразу акцентное положение всего. Почему? Так как становится ясным порядком, именуемым «место» [к примеру, вселенной, космоса, звёздных скоплений, Солнечной системы, Земли, Человека и т.д.]. В данных онто-космогонических акциденциальных частностях общеединоного конструктора «место» проявляется оригинальный способ движения: «целое движется по кругу – это место его частей». [2; 66]. Следовательно, таким базовым образом движется и всё распределённое по пространственно-временным порталам единого места. Материальные аспекты понятия «места» и «местоположения» (ho topos) конкретизируются планетными системами, совершающих различные виды круговых движений. Платон призывал индивидов осознать этот факт и действовать с пониманием всюду-устроенного: «...бог изобрёл и даровал нам (людям) зрение,...чтобы мы, наблюдая в небе круговращения разума, извлекли из них пользу для круговращения мышления в нас самих, в стройных кругах имели образец для расстроенных кругов, а затем, изучив их и достигнув естественной правильности суждений, подражая безупречным круговращениям божества, могли установить и свои собственные, уклонившиеся с пути круговращения». [5; 988]. Подобная интеллигибельная и иная геометрия, скажем, Солнечной «системы», Земли, организованы также круговращательными движениями их самих и стихий их первовеществ. У огня планеты Земля, отмечает Аристотель, «место имеет какую-то силу». [2; 59], потому что имеет её и Земля, вращаясь и двигаясь относительно

Солнца, других планет, иных аналогичных структур вселенной. Платон поясняет: «космос получил смешанную природу, родившись из сочетания необходимости и разума.» [5; 988]. Необходимость здесь понимается как связи материального характера. Важно подчеркнуть, что в данной установке (контексте) направления круговых движений как «верх-низ», «право-лево» и другие подобные во внимание берутся условно. Эти виды орбитных перемещений актуальны миру человека, так как адекватны способам его восприятия и представления. Специфика феномена «место», утверждает Аристотель, различительна силой влияния, воздействия на свои частности прямым или косвенным образом. К примеру, «то, что устремляют огонь и лёгкое тело – верх», куда – это «тяжёлое, в сторону Земли» – «низ» и т. д. Вывод: природное или непосредственно космическое место Земли представлено и выражено совокупностью сил различных её стихийных образований, они суть сила любого преобразования. Речь идёт о субстанциях: огонь, вода, воздух, твёрдое вещество (повседневный смысл – земля). Платон подчёркивал важность изучения этих природных субстратных стихий по принципу *«образец-подражание образцу»*, отмечая при этом высокую степень сложности понимания и описания данных природных феноменов. [5; 989]. Чтобы понять их непродуктивным или научным разумом, в такие описания плодотворно включать поэтические образы, *«значения»*, сравнения и другие когнитивно-лингвистические приёмы. К примеру, силу огня можно назвать как «приемника всякого рождения, как бы кормилица...» (Платон). Подобными образами наполнена поэтика работ Г. Башляра: «Вода и грёзы», «Грёзы о воздухе», «Земля и грёзы волн».

Аристотель указывал, что нейтральное место Земли (она сама по себе) имеет три измерения – длину, ширину, глубину. Совокупность этих параметров определяют геометрию места планеты. Но место энергично, поэтому в ситуации такой геометрической перспективы данности или «вещи» носят математический характер. Согласно вышесказанному «место» «пустым не бывает», оно также обладает энергичным потенциальным веществом. Поэтому место – это то, где размещено одно и более (множество) раз-решённых однажды, явленных множеством структур единой телесно-смысловой интуиции. В пределах её единства заключена общая объёмность место раз-мещения, тождественных форм (единиц).

Зададим вопрос: Имеется ли специфика подходов к пониманию, описанию феномена «место» у Платона и Аристотеля? Аристотель рассматривает такую фактическую наличность как совокупность *условий* быть чему-либо «здесь», в актуальной визуально-явленной сущности. Под термином «здесь» имеется в виду содержание как «то, что есть», или существует пространственно-временным характером, круговращением и другими подобными движениями, а также обладает геометрическими показателями (длиной, шириной, глубиной), имеет субстратное строение и актуально информационной энергией,. Платон же понимал «место» как

идею, эйдос, который воплощён в нечто «здесь происходящее» (событие, исторический момент, политическая ситуация и пр.). Такого повседневного плана данности – *иллюзорны*, искажённые, двусмысленны. Аристотель подробно описывает подобную сомнительность индивидов: «Я говорю, например, ты сейчас» [во Вселенной], потому что» [находишься] в воздухе, воздух же – во Вселенной, в воздухе – потому, что на земле, и сходным образом на земле, потому что» [находишься] в том же самом месте, которое объемлет только тебя и никого больше. Если же место есть первое, что объемлет каждое место, оно будет какой-то границей, так что может *показаться* (выделено нами – О. М.), что место есть вид и форма каждого» [тела] – то, чем определяются величина и материя величины, так как это и есть граница каждого».[2; 61]. Далее: «При таком взгляде трудно понять, что такое место...», – пишет Аристотель, и уточняет: место – не форма, где могут быть размещены тела, природные вещества (вода, воздух), а иное, «нечто вроде сосуда», «как бы переносимое место...». [Там же, 62].

Феномен «место» в текстах Платона, Аристотеля описывается образами природных стихий. Платон: «...должно было явиться тело, которое бы не имело жгучих свойств огня, а давало бы мягкий свет, свойственный всякому дню. И боги сделали так, что родственный тому чистый огонь (внутренний огонь),... вытекает свободно через глаза». Или другое описание: «А когда сродный ему (зрению) огонь на ночь отходит, этот отделяется, потому что, исходя к неподобному, он и сам изменяется и гаснет, не соединяясь больше с ближним воздухом, так как в нём нет огня. Теперь он не только перестаёт видеть, но ещё является возбудителем сна». [5; 987]. Трудно понять и описываемые нами феномены, и те высказывания ранних мыслителей, которые взяли на себя труд и ответственность дать им предельно философское описание. У Аристотеля в работе «Метафизика» даётся понятие «объективного» – это то, что вторгается в наши органы чувств и приводит их в движение. Также и «место» – это совокупность условий, которые приводят в активное состояние эмоциональную, интеллектуальную, экзистенциальную, психологическую и иную чувствительность человека. Возникает жизнь...

Отметим главные идеи статьи.

1. Вселенная (и планета Земля) характеризуется фрактальностью. Имеет вид как бы «складок», которые расположены не на прямой линии, а даны все вместе, словно одна складка – в другой. Такая «скрученность», «свёртка» всего во всём образует шарообразную форму.

2. Основные метафизические представления об организованности макрокосмического порядка нашли первые способы выражения в культурах древних народов. Эти культурологические представления, приёмы осмысления, описания носят различный частный характер. Поэтому, скажем, греческий макрокосм, бесконечная вселенная осмыслены различными оригинальными образами, понятиями, категориями, закономерностями, гносеологическими процедурами.

3. Разработка общеметодологических основ анализа устройства человека, Земли, Вселенной позволит познать те глубинные (сокрытые) универсальные основания, структуры, связи мироздания, которые часто стихийным образом воздействуют в повседневной исторической практике народов. Плодотворно выявлять сущностные способы, характеристики устройства космического порядка вселенной, он так или иначе «присутствует» в любой исторической ситуации социумов. В этом – залог достижения единого цивилизационного порядка. Осуществление этой генеральной цели позволит гармонично соотнести своё «антропологическое место» сообразно космоцентрическим закономерностям «вещей».

Список литературы

1. Антология мировой философии. – Минск: Харвест, М.: ОООИзд-во «АСТ», 2001. – 992 с.
2. Аристотель. Физика. / Аристотель. Политика. Метафизика, Аналитика. – М.: ЭКСМО, С-Пб.: МИДГАРД, 2008. – 960 с.
3. Бируни А. Р. Индия/ Абу Р. Бируни. Индия. – М.: Научно- изд. центр «Ладомир», 1995. – 727 с.
4. Гране М. Китайская мысль/ Майкл Гране. Китайская мысль. – М.: Изд-во «Республика», 2004. – 526 с.
5. Платон Полное собрание сочинений в одном томе. Тимей, или О природе. – М.: Изд-во «АЛЬФА – КНИГА», 2016. – 1311 с.
6. Циолковский К. Э. Космическая философия/ К. Э. Циолковский. Космическая философия. – СПб.: Изд. группа «Лениздат», «Команда А», 2013. – 224.

**ЗАБОТА В ЕЁ СУЩНОСТНОМ ИСПОЛНЕНИИ.
АНАКСИМАНДР И М. ХАЙДЕГГЕР О МЕТАФИЗИКЕ ЗЕМЛИ
Марковцева О. Ю.**

Д. философ. наук, директор Центра социально-этнических исследований (НИИ «МИТОМ»), г. Ульяновск

Аннотация. В статье описываются базовые понятия, закономерности, характеристики, принципы особой научной сферы – философии планеты «Земля». Представлен краткий анализ подходов к этой проблематике с позиций древнегреческого мыслителя Анаксимандра и философа XX в. М. Хайдеггера. В данной статье описывается основная атрибутика философии планеты «Земля» (время, пространство, энергия, движение, скорость, субстратность, биомасса и др.). Также показана неразрывная генетическая связь различных живых структур планеты, центральная из которых – «Земля-и-Человек».

Ключевые слова: философия, метафизика космоса, планета, Земля, пространство, время, движение, материя, субстрат, жизнь, сознание, Сущее, Бытие, Анаксимандр, М. Хайдеггер.

**CARE IS IN ITS ESSENTIAL FULFILLMENT. ANAXIMANDER
AND M. HEIDEGGER ON THE METAPHYSICS OF THE EARTH
Markovtseva O. Yu.**

Doctor of Philosophy, Director of the Center for Socio-Ethnic Studies (MITOM Research Institute), Ulyanovsk

Abstract. The article describes the basic concepts, patterns, characteristics, principles of a special scientific field – the philosophy of the planet "Earth". A brief analysis of approaches to this issue from the perspective of the ancient Greek thinker Anaximander and the philosopher of the twentieth century M. Heidegger is presented. This article describes the main attributes of the philosophy of the planet "Earth" (time, space, energy, motion, speed, substrate, biomass, etc.). It also shows the inextricable genetic connection of various living structures of the planet, the central of which is "Earth-and-Man".

Keywords: philosophy, metaphysics of the cosmos, planet, Earth, space, time, motion, matter, substrate, life, consciousness, Being, Anaximander, M. Heidegger.

Введение. Чтобы поставить вопрос о феномене, обозначенным как «забота в её сущностном исполнении», следует рассуждать максимально широко – с точки зрения планетарной метафизики. Почему это так? Ответ дан в беседе М. Хайдеггера с корреспондентами журнала «L'Express» от 20 – 26 oct. 1969. [3; 148].

«Кор. – Вы первым заговорили об «эре планетарной техники». Что Вы имели в виду?

Х. – «Планетарная эра», «атомная эра» – это выражения, которые свидетельствуют о заре наступающих времён. Никто не может предвидеть, чем они станут. Никто не знает того, чем станет мысль.

Кор. – Означает ли эпоха планетарной техники конец метафизики?

Х. – Нет. Она есть лишь её осуществление (исполнение [l'accomplissement]) ...».

Ответ сформулирован М. Хайдеггером в виде тезиса, в максимально сжатом виде потому, что он расставил социально-смысловые акценты грядущим действиям наших цивилизационно-технологических последствий. «Развернём» картину кратко сформулированным мыслям немецкого философа – эпоха планетарной техники есть исполнение (осуществление) Бытия. Время назрело для осмысления случившейся ситуации. Ведь в текущий исторический момент необходимо определить, что представляет собой изменённая концепция Сущего, Бытия. Сейчас, буквально «на наших глазах», с участием действующих поколений людей одномоментно произошла смена понимания что такое пространство, время, материя, движение, изменился смысловой статус технических устройств, поэтому идеи гуманизма, свободы, этических норм стали «сиюминутны», «позиционны», соотносительны в условиях мировой войны, которые мы все переживаем. Эти аккордные атрибутивные положения истины сложившейся жизни связаны с выживанием человечества в действующих милитаристских обстоятельствах. Хайдеггер остро ставил вопрос о выживании человека, сохранении естественной ресурсности земли сразу после второй мировой войны. Этот немецкий мыслитель ещё мог сказать: «Будущее – вот что важно» [3; 148], современная повседневная ситуация человечества нивелировала эту антропологическую стратегию, превращая историческое предвидение, перспективное предвосхищение в фантазию, фикцию, иллюзию, пожелание. «Сейчас» – только это существует для человека в неуловимой призрачной «свободе» текущего опыта «истории» как непредсказуемая интуиция «уранического» Здесь или «Тут-Бытия». В эпоху мировых военных конфликтов у человечества не остаётся будущего, во всяком случае оптимистичного. Не случайно сейчас феномен «время» утратил бытийный характер, стал способом регистрации, памятью, резервом тех эмоций и перемен, которые эквивалентны и экзистентны действиям других способов врёменного существования. В этот момент истина, назовём её «Здесь-Сущее», закрывает свою эквивалентность – как будто делается не главной, второстепенной. Спонтанно вырвавшиеся, вытесненные, «вышедшие наружу», ясно «обнажившиеся» повседневные интересы, предпочтения, требования людей, народов, государств, различных общественных представительств становятся актуальными и главными. Данное Бытие как необходимое устремлено в «гущу» житейских событий, «проектов» сугубо практико-продуктивного капризного детского выживания в образующихся то тут, то там «зон» острых конфронтаций в общей мировой цивилизации. В этом контексте рассматривать общую планету «Земля» равно как и другие «тела», «объекты» космоса, Вселенной проблематично, почти невозможно. В этих обстоятельствах мы имеем право лишь на точку зрения, касающейся жизненной безопасности существования человека, всех живых существ как единые планетарные ценности, связанные между собой энергиями, информационными потоками психо-

эмоциональными, экзистенциальными волнами их общей коэволюционной цели.

Основной текст. Продолжим разговор о метафизике Земли изречением Анаксимандра. Этот тезис античного философа Анаксимандра привлек внимание М. Хайдеггера: «Откуда вещи берут свое происхождение, туда же должны они сойти по необходимости...сообразно порядку времени.». [4]. На какие главные моменты этого текста нам следует обратить внимание при исследовании своей предметной области?

1. На наличие «*времени*» и его «*порядка*. В этом контексте время мыслится как единый параметр, являющийся одним из базовых параметров-условий «происхождения» и «сошествия» (распад, реструктуризация) вещей. Следовательно, речь идёт о глобальном временном ритме всего наличного материального мира. Здесь время –и уникальная мера вещей, и их специфическое условие, – атрибут материи.

2. В подобной атрибутивно-ритмической комбинации пространственные порталы суть векторы «откуда», «куда» и пр. направленности.

3. Вещи понимаются как «естественные вещи» (материально-чувственные) [4;36].

4. В тезисе также высказана мысль о первоначале сущего вещей – их «происхождении». Этот динамичный порядок зарождения, возникновения, перерождения дан в виде особого «бытия» времени, материи. Временное бытие базово соотносится к проявленным вещам, (а также пока не проявленным, но возможным как особые формы их будущих состояний).

5. При этом возникаемая речь о «необходимости», приспособленности чего-либо в ощущаемом мире – это условие причинно-следственного качества или особого рода связь, чтобы пространственно-временная атрибутика структурно стала явленной.

6. Смысл слова, термина «происхождение» [вещей] следует понимать целостно. Это некоторое глобальное созидующее первоначало, нацелолагающее *жизнь, рождение, распад, перерождение*, вторичный, инораспад вещественных предметов, био-физических объектов. Так устанавливается, стабилизируется их единство, целостность. Это процесс бесконечного творения.

Земля, согласно всем этим утверждениям, – уникальное космическое «тело», специфический био-химический, био-физический «объект» как вселенская «вещь». Благодаря этим характеристикам любая её планетарная живая «вещественная» сущностная наличность возникает, проявляется, преобразуется, мутирует (видоизменяется) и пр. под воздействием различных пространственно-временных способов, извлекая прежние, а также новые формы, виды живых организмов. Земля – это не просто планетарно сотворённая наличная явленная «вещь», а вид, качество, способ, структура живого вещества, а непосредственно творящий «субъект» в своих

допустимых границах многообразных условий жизненной деятельности во всех их значениях и предназначениях. Назовём данные многоуровневые процессы творения «актуальным жизнестановлением» – это основная планетарная «забота» Земли. Она (забота) экзистует, спонтанно наличествует везде в её живом материале. Повседневный опыт человечества также пронизывает данный экзистент в качестве естественной «заботы» всех обо всём. Данный феномен органично проявляется в различных культурах народов. Забота о таком главном неразрывно связана с землепользованием, отмечал М. Хайдеггер. [4]. Как правило, это активность широкого производственного плана, в её основе – крестьянское хозяйство, землепользование, аграрная «забота». Такого рода «культура» как «возделывание», «пахота», «преобразование» земли суть реализация экономико-потребительских интересов человека. Одно живое вещество (субстрат) преобразуется в другое живое вещество (другой субстрат). Следовательно, общая субстратность живого вещества, синтез таких веществ составляет материальную планетарную специфику Земли. Живая органика этой планеты возможна теми веществами, в контексте которых пространственно-временные образования органических смыслов структурированы циклическими элементами её энергетических потенциалов «живого материала». Эти характерные параметры всей субстратности вселенной, космоса, проявляются на Земле отчасти неповторимыми субстратами. Какими? на этот вопрос даст ответ наука. Но главное другое – надо поставить перед ней этот вопрос.

Органеллы «вещей» вербализуются. Слова, предложения, прочие языковая атрибутика – это другой порталный материал материального приоритета проявленных субстратных образований. Поэтому вышеприведённая формулировка Анаксимандра – один из законов, механизмов, процедурных способов единого Логоса вселенной. Космос можно изучать, описывать, трактовать в виде универсального «Закона сохранения субстратного вещества *вселенной*» или «Закона сохранения первооснов материи *космоса*». Чем один Закон отличается от другого? Масштабностью. Вселенная – вечная, бесконечная не проявленная до конца структура, космос аналогичен вселенной, но проявлен астрофизиологическими объектными «моделями» типа: «Солнечная система», «Созвездие Орла», «Туманность Андромеды», «Млечный путь», «чёрная дыра» и т. д..

В этом случае сущность планеты Земля подчиненная общим законам вселенной, космоса, но проявлена технико-технологическим образом своего существования в «чувственно отмеченном» пространственно-временном портале. Здесь Бытие не скрывает себя полностью, а показывается аспектами, непосредственно касающимися технико-информационной повседневной практики, истории, культуры Земли, людей в контексте их живой архетектоники, совместных архетипов истории. Отметим, что такого рода Бытие сущностно, а Сущность,

соответственно, бытийна или со-бытийна в их неразрывной имманентной связи. Такая связь – особого рода «сцепка», она как вселенская способность, похожая на взаимообмен энергий, генерирующих в данный момент «сейчас» макро-и-микро-возможностей многообразных «проектов» вселенско-космического масштаба. В таком качестве (как существование) едино данное Сущее представляется особым общепорядковым Бытием. «Сущее Бытия» равно как «Бытие Сущего» – его различные аспекты, модусы. Это различно аспектированное, сложно устроенное во все времена привлекало внимание мыслителей, философов, ученых. В далёкие от нас времена по-своему стремились описать особенность мироздания его локальности, к которым имеет непосредственное отношение человек. В центре внимания мыслителей находился мыслящий индивид, так или иначе вовлечённый в разнородные связи вселенского универсализма. В антропологическом аспекте Бытие виделось как порядок трансцендентных взаимодействий человека с его запредельным, которое Хайдеггер обозначал термином «простор». Трансцендентальный контекст данного порядка философ называл «горизонтом» и относил его к актуальным праксиологическим повседневным «заботам». Этот уровень доступен воле, желаниям человека. Этот повседневный уровень жизнедеятельности показателен стремлением индивида к управленческим решениям – так он вносит сущее в своё бытие. О высоком, вне человека находящимся Бытии, и другом, повседневно-практическом порядке вещей человек «знает» «врождённой» генетической интуицией или памятью об архитипическом понимании. Ведь он понимает, что мир всегда «есть», присутствует как наличность, очевидность в полном «объёме» своих функций, значений. Вышеописанное как будто похоже на то, что имел в виду Аристотель, говоря, что всегда есть нечто такое, которое «производит себя самого». Другими словами, одновременное сохранение первоосновы материального и нематериального мира – единый акт. Планета «Земля» и другие системы космических «объектов» – не исключены из списка правил о «веществах». Планеты, звёзды рождены и, кажется, что «для себя самих», но взаимодействуют, взаимосвязаны, взаимозависимы словно речь идёт о едином «организме» *своего* другого какого-то плана. Получается, что нечто действует, производится, тиражируется, изменяется, измеряется в любом формате как будто бы «по своей причине», однако природа своей адекватности приводит к «объективным», или извне сложившимся обстоятельствам. Всё эта многопорядковое «нагромождение» взаимодействий формирует общий «узел» «причин» тех одновременно складывающихся условностей, которые в формате «здесь, тут» создают свою ясную, вполне конкретную область предметов. То, «ради чего» они едино взаимодействуют, приобретает их общее значение, формирует единую цель, промежуточные результаты, последствия. Факт такого взаимодействия вызывается их обоюдным «событием». Скажем по другому, событие как «со-бытие» – это *не совокупность случайных* совпадений (они

лишь кажутся таковыми) а специальные одновременно сложившиеся частные условия непосредственно взаимодействующих «вещей». В каждом отдельно взятом событии «вещи» (предметы, объекты) должны быть между собой тождественными в однонаправленном действии, адекватными между собой, чтобы случилось их взаимодействие, совпадающем в ситуации «здесь». Когда подобный момент по каким-либо обстоятельствам отсутствует, не складывается или ослабляются его связи, то расстраиваются прежние их отношения и возникают другие как условия иных событий.

Все вышеописанные механизмы жизни, жизнедеятельности иллюстративны различными материалами, в том числе – историческими. К примеру, знания о прошлых состояниях, периодах Земли, равно как и эпохах, цивилизациях человечества, археологи, историки черпают из различных источников, применяя специфические методы исследований. М. Хайдеггер эстафету передачи последующим поколениям людей нереализованных целей, программ, задач в научных областях знаний называл «хронологическое-историческое передавание». Здесь Земля, человек имеют индивидуальные отличия их общего и непосредственного в данных процессах. Повседневный механизм «передования» как принятая сиюминутная «правда» с различными оттенками восприятия кажется обоюдным контактом человека и планеты. Что мы имеем в виду? К примеру, вариации восприятий, приспособлений изначально разных потенциалов Земли и индивида измеряются различными природными значениями – не однородными и не однопорядковыми, это касается их «мест» в мироздании, скоростей действий, а также последствий в рамках общедоступного «хронологического-исторического» движения. Они обычно обозначаются человеком как «эра», «период», «эпоха», «время», «событие», «вчера», «сегодня» и т.д. Эйнштейн утверждал, что человек создаёт и пользуется «ориентированным временем», которое лишь иллюзия. [Цит. по 2; 24]. Так, функционально различны у Земли и человека потенциалы, тенденции, комплексы возможностей, условий, событий и их значений. Лао-Цзы утверждал, что «Небо и Земля не обладают человеколюбием и представляют всем существам возможность жить собственной жизнью» [1; 607]. Исходя из этого обоюдный путь планеты Земля и её человекоподобной сущности как вещества всегда с гносеологической и повседневной позиций носит проблематичный характер. Таковой часто демонстрируется противоречиями, и не последнюю роль в таких разнонаправленно проявленных обстоятельствах большую роль играют спонтанные неразумные действия людей. Однако сложившаяся та или иная эгоцентрическая стратегия человечества в своей основе ложна, недолговечна, не конструктивна по отношению к жизни, существованию планеты Земля, следовательно, негативно влияет на любые планетарные условия, контакты, связи не только на уровне «внутренней», субъективной жизни Земли, но и за её пределами. Наша планета Солнечной системы,

другие структурные «объекты» вселенной, активно действуют согласно собственной «повседневности», происходящей в иных пространственно-временных условиях. Каковы эти условия? Данный вопрос требует исследований.

Учёные постоянно фиксируют, наблюдают изменения состояний Земли различного характера. Органеллы макрокосмоса, ранее, казалось, устойчивые в планетарных, звёздных системах, в данный момент изменяют свои значения. И у людей сейчас происходит смена исторической, геополитической парадигмы. Каковы причины этих перемен? Сложный вопрос. Но заняться поиском ответов на него крайне важно, ведь глобальные изменения космического, вселенского масштабов не могут не влиять на историческую действительность, мировоззрение, культуру, опыт социумов, государств, этносов. Равно как и напротив, перемены в «малом», «частном», местном не могут не вызывать какие-то иные инновационные обстоятельства в первозданном существовании всего сущего. Глобально значимые планетарные изменения не предсказуемы с точки зрения воздействий на «всё», а также последствий, перспектив, ожиданий человечества. М. Хайдеггер с тревогой ставит вопрос о будущем человечества: «Не стоим ли мы в предвечерье наиболее чудовищной перемены всей земли и того времени исторического пространства, в котором держится эта земля? Не стоим ли мы в вечернем кануне некоторой ночи перед какой-то иной утренней ранью? Не для того ли мы вышли в путь, чтобы иммигрировать в историческую страну этого вечернего заката Земли»? [2; 32]. И вновь подчеркнём, в данном тезисе философ настойчиво заявляет, ставит вопрос о будущем человечества, Сложившаяся «современность» лишилась такой привилегии как прогнозирование, поэтому будущее стало эфемерным, фантомным – отчасти фантазией, желанием, иллюзией человека, «стоящего перед лицом неопределённости» (выражение И. Пригожина). Следовательно, остро назрел момент хотя бы теоретически вернуться «назад», «в прошлые времена», чтобы сформировать новые адекватные ориентиры, обеспечивающие прогнозы, конструктивные, гармоничные связи актуально протекающей современности с «будущим» как обоснованное «забегание вперёд».

Вновь вернёмся к античному тезису Анаксимандра. В его контексте поставим вопрос: что такое Земля не сама-по-себе, а с человеческим фактором? В этих смысловых условиях планета показательна живыми семиотическими значениями языковой специфики общей установки сознания. Речь её особенность «условно» (лингвистически) обозначает явленное в виде осмысленного как проговорённого. Любой философ особыми лингвистическими процедурами формулирует, описывает, доказывает принципиальную «нескрытость», т. е. ясность и прозрачность смысловых структур планеты Земля, а также потребительский контекст интересов человечества. Возникает повседневный аспект языковой связи метафизики планеты с человечеством, воспринимающим землю в качестве

многообразных «угодий» ради существования антропологической биомассы. В этом значении в перечень её забот о жизни входит понятие тело как связь с человеческим значением – это рождение, питание, размножение, родина, место, путь, энергия, вещество, время, история народы, государства, сообщества, представленные широко как планетные аспекты, задачи. Но так ли это? Какими способами описать *логику* и содержание такой продуктивно-практической «несокрытости» планеты и её мыслящих существ, носителем которых она является? Каждое историко-эпохальное время по-своему, оригинально создают стилистику астрономических, астрологических, социально-исторических и иных способов описаний масштабов качественных сторон жизнедеятельности Земли. Планета допускает такое творчество, однако в определённых рамках. При таком описании сознание человека автоматически интуитивно считывает или учитывает имеющиеся событийные состояния Земли. Другими словами, антропологическое существо отчасти всегда нечто «знает» и может использовать историческую память планеты, при этом вписывая в её анналы свой повседневный нарратив. Этот особый текст, заметим, носит ландшафтный характер, так как язык повседневного и иного описания отображает в смыслообразном формате естественный рельеф сознания Земли. Его дизайн повторяет Тело человека – оно также создано рельефными чертами натуры Земли. Так, Хайдеггер в своих текстах, описывая процедурную логику сознания человека, применял такие выражения: «прыжок через некий ров», «ров этот шире и глубже, чем...», «мы твёрдо стоим на своём краю», «разбег для отскока», «легко прыгнуть слишком коротко» [3; с. 33, 34, 35]. Эти и другие подобные сравнения, обороты речи носят физическую, ландшафтно-планетарно-образность. Вывод: «антропо-логико-генность» Земли возможна помимо прочих при условиях наличия речевых качеств планеты. В этом значении Земля может дополнительным образом «приобретать» мысль о самой себе, иначе ради чего дана эта сложная связь «Земля-Человек»? В данном случае, к примеру, планета одновременно «удерживает мыслью»: 1. саму себя (забота планеты), 2. человеческих существ как их повседневный опыт (забота человека), реализуя планетарную «программу» своего уровня как сущностную Заботу осуществления Земли, её истории. Другими словами, Земля обладает мемориальными идеями своей персональной истории, поэтому «запоминает» события различного характера, естественным образом реализуя для этого мемориально-интеллектуальные способности. Поэтому и её стихии, субстратные материалы, существа, населяющие её, обладают подобными наклонностями. Поэтому человеку доступны некоторые историко-информационные арсеналы, порталы планеты. Так, он, применяя археологические и другие научные методики, узнал, к примеру, какой и когда животный мир населял планету, какие и когда существовали цивилизации, в основном понимает их культурные образцы, исследует как взаимодействовала наша планета с другими космическими объектами и

прочее. Получается, история Земли отчасти открыта человечеству как своеобразная гносеологическая площадка. Равно как и для планеты, космоса человеческая событийная история естественным образом вписывается, консервируется как гео-антропологическая «быль», «легенда». Так человечество попадает в поле зрения планетарно-информационного наблюдения, в некий портал планетарно-космического масштаба. В эти живые тезисы включён такой, который М. Хайдеггер называл «родоплеменным хозяйством в равнопребывающем домострое природы» [4; 34 – 35]. В этом аспекте речь идёт о широкой сети возможностей «хозяйственной» деятельности человека в естественном исполнении сущностной заботы планеты Земля как о самой себе. Планета должна быть в наличии. Поэтому генеральная, сущностная забота человечества о самовыживании в этих многоаспектных состояниях мироздания – этим содержанием наполнены повседневные хлопоты человека. В практическом значении термин Хайдеггера «простор» должен восприниматься как материал истории планеты и других скрытых источников вселенной. «Простор» не познан человеком, но, может быть, и вовсе не приоткроется ему как модус индивидуальной частной жизни Земли и того, что всегда за пределами человеческого уровня. В повседневном же смысле территория земли, по Хайдеггеру, – «горизонт», «панорама», совокупность способов решения производственных и других задач, связанных с проживанием, естественным выживанием народов в их исторических формах культуры. Вышесказанное прямо связано со степенью приспособленности образов жизни народов к планетарной действительности. В этом случае Земля «заявляет» о себе практически, обнаруживается для человека общедоступными условиями и средствами порождения человеческих индивидов. Именно в таком качестве она – почвой укореняющая сфера, макро-и-микро условие «молекулярных» структур продуктивно нацеленного человечества.

Единый субстрат Земли органичен, осязателен живыми органами существ, напрямую соприкасающимися с тем, из чего «сделан» тот или другой их натуральный вещественный вид. Переходные состояния субстрата возможны как синтез. Когда? При разрушениях, созиданиях, становлениях – это натуральная органичная функциональная закономерность существования Земли. Согласно данному механизму «вещи» возвращаются, возрождаются в ином качестве – круговращаются. Данные метаморфозы обеспечивают их относительную устойчивость, первозданность оснований всех «вещей». Такие «трюки» могут быть проиллюстрированы процедурами диалектических законов.

Земля «субстратна» собственным, адекватным ей *первовеществом*. Каково оно? В целом – это синтез микро-и-макро-материальных структур как единое наличное вещество. Все био-химические, био-физические и другие элементы совместно размещаются настолько тесно, корректно, что одна частица, элемент становятся не возможными без наличия подобных

остальных. Такая «тончайшая» сопричастность всего представленного во всём органично и естественно организована в живой ипостаси. Планетная единица простого вещества Земли – разнородный набор материальных элементов и таких, которые мыслят данную элементарную материальность. Такое первовещество совершенно, в данных пределах завершённо, целостно, даже нечто большее, чем просто «это» или «то» вещество, воспринимаемое нами. Поэтому для человечества имеет большое значение сориентировать внимание на концентрацию удержания первородных условий возникновения, проживания индивидов в повсюду животворящихся матрицах планетарных перспектив. В этом смысле Земля – родина. Сознание, тело, мысль, лингвистический язык человека образны смыслообразами земли. Мы говорим: «предметное поле», «глубина мысли», «стихия творчества», «текучесть кадров», «океан возможностей». Эти и прочие обороты повседневной речи демонстрируют человека как спонтанно озвучивающего, подражающего природному облику Земли. Однако тут становится не вполне ясно: сама Земля «ведёт речь» лингвистическими и другими возможностями человека, отражая саму себя, свою «сущностную заботу», цикличную «повседневность» или он, сын планеты, открывает её «образ и подобие» в контексте своего самостоятельного человеческого существования? Нам важно понять и осознать принципиальную взаимосвязь, единство, причастность, адекватность, гармоничность, тождественность общего порядка всех макро-и-микро-уровней планеты, космических порталов, ведь именно таким образом исполняется их взаимосвязанное бытийное предназначение. Возможно, тогда человек вернёт себе уверенность «будущего» времени и перестанет задавать фундаментальный вопрос: «не пребываю ли я во сне о самом себе, отражённом в глубине Бытия, рассчитывая на спасительное пробуждение?».

Список литературы

1. Антология мировой философии. Часть VI, Китай / Древний Восток / – Мн.: Харвест; М.: ООО «Изд-во АСТ», 2001. – 992 с.
2. Пригожин И. Будущее не задано /И. Пригожин. Человек перед лицом неопределённости/ Под ред. И. Пригожина. – Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 304 с.
3. Хайдеггер М. Беседа с Хайдеггером / Мартин Хайдеггер. Разговор на просёлочной дороге. Сборник: Пер. с нем. / Под ред. А. Л. Доброхотова. – М.: Высшая шк., 1991. – 192 с.
4. Хайдеггер М. Изречение Анаксимандра / Мартин Хайдеггер. Разговор на просёлочной дороге. Сборник: Пер. с нем. / Под ред. А. Л. Доброхотова. – М.: Высшая шк., 1991. – 192 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Приветственное слово.....	5
---------------------------	---

Секция 1

ЗАГОТОВИТЕЛЬНО-ШТАМПОВОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО В МАШИНОСТРОЕНИИ

Галкин В.В., Пачурин Г.В., Дербенев А.А., Казаков А.А. ОЦЕНКА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И УСТАЛОСТНЫХ СВОЙСТВ СТАЛИ 12Х17Г9АН4 ПРИ ГОРЯЧЕЙ И ХОЛОДНОЙ ФОРМОВКЕ ЛИСТОВЫХ ГОФРИРОВАННЫХ ПАНЕЛЕЙ.....	7
--	---

Демьяненко Е.Г., Петров И.Н., Фомичев Д.С. ИНКРЕМЕНТАЛЬНОЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ С КОНЦЕНТРИЧЕСКИМ ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ СЕЧЕНИЕМ.....	13
---	----

Демьяненко Е.Г., Попов И.П., Охапкин Ю.С., Иванус Е.А. ДЕФОРМИРОВАНИЕ КРУПНОГАБАРИТНОГО ПОЛУТОРОВОГО ОСОБОТОНКОГО ДНИЩА.....	18
--	----

Левшонков Н.В., Ахметова Ю.Ф. ЛАЗЕРНАЯ ГИБКА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА.....	26
--	----

Морозов О.И., Мишов Н.В., Родионов Д.А., Ченакин К.Г. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА СОВМЕЩЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ.....	30
--	----

Нестеренко Е. С., Синичкин А.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ МЕТОДОМ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ.....	34
--	----

Нестеренко Е.С., Трифонов А.И. ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИБКИ МЕТОДОМ ХЛШ.....	40
---	----

Секция 2

ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

Баранов М.В., Панышев Н.Н., Каневский Г.Н., Ежов В.М. КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СМЫКАНИЯ ХИРУРГИЧЕСКИХ НОЖНИЦ.....	46
---	----

Зародов М.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОФОРМОВКИ ТЕПЛООБМЕННЫХ
ПАНЕЛЕЙ.....58

Илюшкин М.В.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ СТАНКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИСТОВЫХ
ДЕТАЛЕЙ И ПРОФИЛЕЙ.....67

Каргин В.Р., Каргин Б.В.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПРАВОЧНОГО
ВОЛОЧЕНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ В ОДНУ И БЛОК ВОЛОК.....81

Лапышёв А.А., Шишлянников Д.И.

СПОСОБ АППРОКСИМАЦИИ ГЕОМЕТРИИ КОНТУРА ДЕТАЛИ ТИПА
СТРИНГЕР ИЛИ ШПАНГОУТ ДЛЯ УЧЁТА ПРУЖИНЕНИЯ
ПРИ ГИБКЕ С РАСТЯЖЕНИЕМ.....87

Марковцев В.А., Илюшкин М.В., Булычов О.И.

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ПОСТ-ПРОЦЕССОРА
И ГЕНЕРАЦИИ ДАННЫХ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ
ДЛЯ ПРЕССОВ ПГР.....99

**Михеев В.А., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М., Бухаров И.В., Батурин А.А.,
Булычов О.И., Сурудин С.В., Тарасов В.А., Воробьев Д.И.**

ОБОСНОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА
ТЕХНОЛОГА С СИСТЕМОЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ
ТОНКОЛИСТОВОЙ ОБОЛОЧКОВОЙ ДЕТАЛИ, ПОЛУЧАЕМОЙ В
ПРОЦЕССЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОБТЯЖКОЙ НА РАСТЯЖНО-
ОБТЯЖНОМ ПРЕССЕ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....106

Николенко К.А., Попов И.П., Казаков А.В.

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ШТАМПОВКИ
ДЕТАЛИ «ТРОЙНИК» С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО
ПРОДУКТА QFORM.....142

Николенко К.А., Фомичев Д.С., Попов И.П.

АНАЛИЗ СОГЛАСОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
С ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ ПРОЦЕССА ОСАДКИ
ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ В ПРОГРАММЕ LS-DYNA.....146

Поворов С.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ И ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ФОРМОВКИ ДЕТАЛИ В ВИДЕ ШВЕЛЛЕРА НА ПРОФИЛЕГИБОЧНОМ СТАНЕ.....	151
--	-----

Попов И.П., Николенко К.А., Казаков А.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ КОРОБЧАТОЙ ДЕТАЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА LS-DYNA.....	160
---	-----

Секция 3 ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

Астапов В.Ю., Рябов А.Н.

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ БЕСПЛАЗОВОЙ УВЯЗКИ ОСНАСТКИ КОНСОЛИ КРЫЛА ЛЕГКОГО САМОЛЕТА.....	165
---	-----

Астапов В.Ю., Серова Д.И.

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УВЯЗКИ ОСНАСТКИ ДЛЯ ХВОСТОВОГО ОПЕРЕНИЯ ЛЕГКОГО САМОЛЕТА.....	172
---	-----

Дмитриенко Г.В., Марковцева В.В.

ОПТИМАЛЬНЫЙ РАСКРОЙ ЛИСТОВЫХ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	178
---	-----

Марковцева В.В.

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ СХЕМЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ БЕЗДЕФЕКТНОГО Z-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ ТИПА ШПАНГОУТ.....	191
--	-----

Марковцев В.А., Попов А.Г., Антонов В.Н., Агафонов А.Н.

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРАВКИ ПРОФИЛЕЙ РАСТЯЖЕНИЕМ.....	199
--	-----

Морозов О.И., Мишов Н.В., Родионов Д.А., Фоменков Д.В., Храмов Д.А.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ УДАРНОГО И РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, МЕТОДЫ НАНЕСЕНИЯ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ.....	204
---	-----

Трубякова Е.М., Дмитриенко Г.В.

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ИНТЕГРАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ БЕСПИЛОТНОГО
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (БПЛА) САМОЛЕТНОГО ТИПА.....209

Турундаев К.В.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ГНУТОЛИСТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ.....219

Секция 4

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ В АВИАЦИОННО- КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Марковцева О. Ю.

ПЛАТОН, АРИСТОТЕЛЬ, ДРЕВНЕВОСТОЧНАЯ МЫСЛЬ
О МЕТАФИЗИКЕ ЗЕМЛИ И ВСЕЛЕННОЙ.....224

Марковцева О. Ю.

ЗАБОТА В ЕЁ СУЩНОСТНОМ ИСПОЛНЕНИИ. АНАКСИМАНДР
И М. ХАЙДЕГГЕР О МЕТАФИЗИКЕ ЗЕМЛИ.....236

Благодарим за участие!



Электронное научное издание
НАУКА, ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА
АВИАЦИОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КЛАСТЕРА
СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

Материалы X Всероссийской научно-производственной конференции,
приуроченной ко Дню Российской науки и 80-летию победы
в Великой Отечественной войне
(Россия, г. Ульяновск, 12-13 февраля 2025 г.)

Сборник научных трудов

Отв. за выпуск В. В. Марковцева

ЛР № 020640 от 22.10.97

Дата подписания к использованию 22.04.2025.

ЭИ № 2055. Объем данных 13,2 Мб. Заказ № 255.

Ульяновский государственный технический университет
432027, Ульяновская обл., Ульяновск, Сев. Венец, 32.
ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, Ульяновская обл., Ульяновск, Сев. Венец, 32.

Тел.: (8422) 778-513
E-mail: venec@ulstu.ru
venec.ulstu.ru