



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Союз машиностроителей России

АО «Ульяновский НИАТ»

ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет»

Кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»

Кафедра «Технологии заготовительно-штамповочного производства»

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

Материалы VI Международной научно-производственной конференции, приуроченной ко Дню российской науки

Сборник научных трудов

Ульяновск
2021



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

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

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

Collection of proceedings

Ulyanovsk
2021

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Союз машиностроителей России
АО «Ульяновский НИАТ»
ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет»
Кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»
Кафедра «Технологии заготовительно-штамповочного производства»

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

Материалы VI Международной научно-производственной конференции, приуроченной ко Дню российской науки

Сборник научных трудов

УДК 629.7:658(082)

ББК 39.5+30.6я43

Н 34

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

Н 34 **Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России.** Материалы VI Международной научно-производственной конференции, приуроченной ко Дню российской науки (г. Ульяновск, 2021 г.) : сборник научных трудов [Электронный ресурс]. – Электронные данные. Ульяновск : УлГТУ, 2021. – 210 с.

ISBN 978-5-9795-2121-3

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

Статьи печатаются в авторской редакции.

УДК 629.7:658(082)

ББК 39.5+30.6я43

ISBN 978-5-9795-2121

© Коллектив авторов, 2021.

ормление. УлГТУ, 2021.

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

Уважаемые коллеги!

VI ежегодная научно-производственная конференция «Инновации в технологиях формообразования листовых материалов и упрочения технологической оснастки в авиационной и других отраслях промышленности», приуроченная ко Дню Российской науки, стала традиционной. Организаторы УРО Союз машиностроителей России, АО «Ульяновский НИАТ», базовая кафедра «Технологии заготовительно-штамповочного производства» (УлГТУ – АО «Ульяновский НИАТ»), кафедра «Материаловедение и ОМД» УлГТУ в текущем году приняли решение проводить данный научный форум в «on-line» режиме, учитывая сложившиеся эпидемиологические обстоятельства мирового масштаба. В данных условиях полученный опыт показал, что ограничение непосредственных контактов участников конференции позволяет сохранить основную тематику этого научного форума. В 2021 году содержание конференции представлено докладами on-line работы четырех секций: «Заготовительно-штамповочное производство в машиностроении», «Инженерный анализ и автоматизация», «Подготовка производства», «Гуманитарные науки в авиационно-космических технологиях».

Оргкомитет выражает благодарность всем авторам, принявшим участие в данной научно-производственной конференции, и надеется на дальнейшее плодотворное сотрудничество.

Оргкомитет конференции

Секция 1

«Заготовительно-штамповочное производство в машиностроении»

УДК 621.981

ПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЫ ПОДГИБКИ ОТБОРТОВАННОЙ ЧАСТИ ПРОФИЛЯ ПРИ ФОРМОВКЕ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВАЛКАХ

Гульшин В.А.¹, Филимонов А.В.², Филимонов В.И.³

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

2 – к.т.н., технический директор АО «Новые промышленные технологии» (г. Н. Новгород),

3 – д.т.н., ВНС АО «Ульяновский НИАТ», профессор

Аннотация: Установлено, что при изготовлении тонкостенных профилей без элементов жёсткости в донной части, отбортовку можно формовать в первых переходах на конечный угол по отношению к несущей полке, а последующие переходы выполнять по схеме, характерной для швеллера с умеренной шириной полок. При наличии рифтов в донной части профиля со значительной толщиной стенок и с небольшой шириной подгибаемой полки, формовку отбортовок следует производить постепенно по переходам с подгибкой отбортовки в каждом из них на угол, не превышающий предельный угол.

Ключевые слова: профилирование в валках, метод интенсивного деформирования, профиль с отбортовками, рифт, боковая утяжка, предельный угол подгибки

LIMIT FOLDING ANGLES FOR A FLANGED PART OF THE PROFILE FORMED IN HORIZONTAL ROLLS

Gulshin V.A.¹, Filimonov A.V.², Filimonov V.I.³

1 – head of Trainig center of the «Ulyanovsk Mechanical Plant», JSC, k.t.s., asc. prof.;

2 – technical director of the «New Industrial Technologies», JSC (city of N. Novgorod), k.t.s.,

3 – SR of the «Ulyanovsky NIAT», JSC, d.t.s., professor

Abstract. It has been established, that in roll forming of thin profiles without rigidity elements in their bottom parts the flanging could be formed in first steps at final folding angle with regard to the carrying flange, while the subsequent steps might follow the pattern specific for a web with moderate flange widths. For a thick profile with rigidity elements in its bottom part and having a narrow carrying flange, the flanging should be formed gradually from step to step and its folding angle should be smaller than the limit angle established in this paper.

Keywords: roll-forming, intensive deformation method, flanged profile, rift, side drag, limit folding angle.

При выборе технологии производства профилей с отбортовками в горизонтальных валках профилировочных станков часто возникает вопрос о соотношении геометрических параметров отбортовки, несущей полки и толщины заготовки для различных материалов для установления углов подгибки отбортованной части при изготовлении такого профиля. Этот вопрос был исследован в работе [1] применительно к некоторым частным случаям изготовления гнутых профилей с отбортовками. Однако

отсутствовало обобщение результатов на случаи произвольного сочетания геометрических параметров и используемых материалов, что представляет собой цель предпринимаемой публикации.

Пусть полка высотой b профиля с толщиной стенки S несёт отбортовку шириной a , расположенную на готовом профиле под прямым углом по отношению к её несущей полке. В промежуточных переходах угол между несущей полкой и отбортовкой является переменным, а радиус их сопряжения считается постоянным (по концепции технологии метода интенсивного деформирования [2]). Иллюстрацией сказанного может являться левая подгибаемая полка с отбортовкой профиля усиления борта, приведенного на рис. 1.

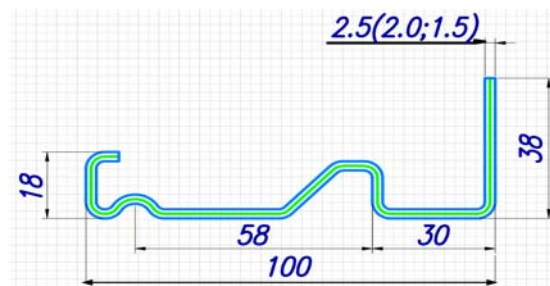


Рис. 1. Профиль усиления борта

В промежуточном переходе конфигурация несущей полки и отбортовки имеет вид, представленный на рис. 2а, а на рис. 2б указаны геометрические параметры и направление действия силы подгибки отбортовки. Радиусы сопряжения на рис. 2 условно не показаны. Обычно их назначают при проектировании так, чтобы внутренний радиус зоны изгиба был бы более $1,5S$ (из условия технологичности операции гибки)[3]. Здесь же показано положение отбортовки на последующем переходе и ограничение движения торца заготовки инструментом. Если подгибка отбортованной части относительно несущей полки осуществляется на угол θ

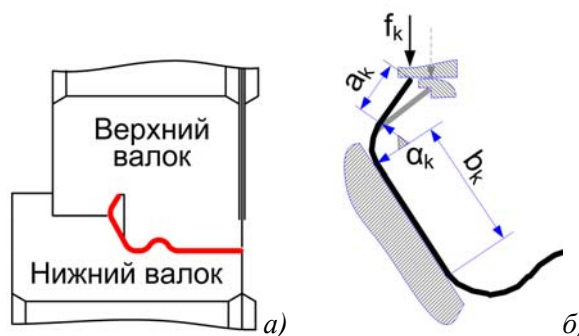


Рис. 2. Положение части профиля в валках:
а) – профиль в валковом калибре;
б) – геометрические параметры и приложение силы к торцу профиля

(индекс обозначения номера перехода условно опущен), то относительная деформация отбортованной части заготовки по её ширине (вследствие смещения торца заготовки и сжатия отбортованного элемента) составит величину:

$$\varepsilon_a = \frac{a(1-\cos(\theta))}{a} = 1 - \cos(\theta), \quad (1)$$

где a – ширина отбортовки; θ – угол подгибки отбортовки.

Значительная величина относительной деформации может приводить к изгибу отбортованной части. Если величина торцового сжатия небольшая, то может произойти сжатие рассматриваемого элемента без изгиба или изгиб заготовки в упругой области, а при значительном торцовом поджатии может возникать пластический изгиб.

Рассмотрим геометрические соотношения изогнутого участка отбортовки и оценим влияние избытка заготовки при торцовом сжатии и изгибе заготовки на радиус R . Пусть внутренний угол, соответствующий изогнутому участку заготовки длиной C , составляет 2γ , тогда имеет место соотношение:

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{a}{2R}\right). \quad (2)$$

Относительная величина торцового сжатия, являющаяся причиной изгиба (выпучивания) элемента, с учётом зависимости (2) может быть представлена в виде:

$$\varepsilon_a = \frac{C}{a} - 1 = \frac{2\gamma \cdot R}{a} - 1 = \frac{2R}{a} \arcsin\left(\frac{a}{2R}\right) - 1 = \frac{1}{\xi} \arcsin(\xi) - 1, \quad (3)$$

где $\xi = a/(2R)$.

Разложив $\arcsin$ в ряд Тейлора с удержанием двух членов, получим из формулы (3):

$$\varepsilon_a = \frac{\xi^2}{6}. \quad (4)$$

Приравнивая правые части зависимостей (1) и (4), получим уравнение для определения радиуса изгиба отбортованной части отбортовки:

$$R = \frac{a}{\sqrt{24(1-\cos(\theta))}}. \quad (5)$$

Теперь найдём предельный радиус изгиба, при котором пластической деформацией охвачено 90% площади изогнутого участка. Если периферийные зоны (по отношению к средней линии) подвергнуты действию сжимающих (от внутреннего контура зоны изгиба) или растягивающих (от наружного контура зоны изгиба) тангенциальных напряжений и находятся в пластическом состоянии, то зоны, примыкающие к средней линии шириной $1/20S$ каждая, находятся в упругом состоянии. Следует ожидать, что на границах упругой и пластических зон уровень окружных деформаций будет несколько превышать деформацию, соответствующую пределу пропорциональности на диаграмме одноосного растяжения ($\delta_{пр} \approx 0,05$ для большинства низкоуглеродистых сталей). С другой стороны, окружная деформация изогнутой зоны определяется зависимостью:

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{u}{r+S/2}, \quad (6)$$

где u – расстояние от средней линии (точнее, от линии нейтрального слоя деформаций) до границы пластической зоны; r – внутренний радиус зоны изгиба.

На границах упругопластических зон из (6) следует (при $u=\eta \cdot S$, $\eta=0,05$):

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{u}{r+S/2} = \frac{\eta \cdot S}{r+S/2} = \delta_{пр}, \quad (7)$$

Из уравнения (7) следует предельное значение относительного радиуса изгиба, когда заготовка наследует приданную ей форму за счёт развитых пластических деформаций, и зону с допустимыми радиусами изгиба:

$$\frac{r_{пр}}{S} \geq \frac{\eta}{\delta_{пр}} \approx 10. \quad (8)$$

Полученные результаты, в соответствии с формулами (5) и (8), представлены на рис. 3, где кривые 1 - 3 соответствуют различной ширине отбортовок. Область, лежащая ниже горизонтальной прямой, является запретной, поскольку при малом радиусе изгиба отбортованная часть наследует

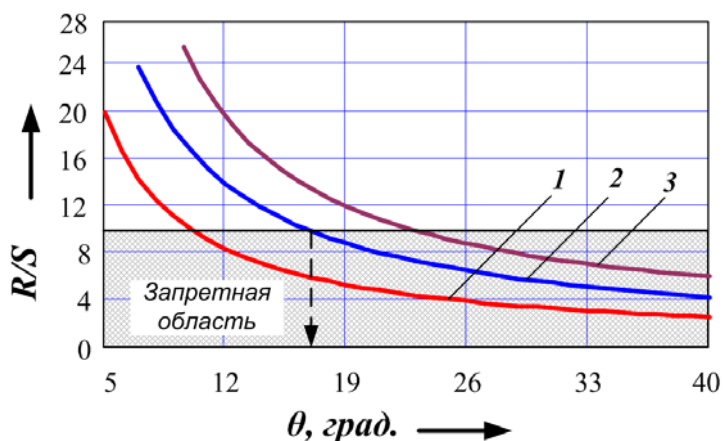


Рис. 3. Диаграмма зависимости остаточной кривизны отбортовки от угла её подгибки: 1, 2, 3 – $a=3S, 5S, 7S$ соответственно

кривизну (точнее, её часть после разгрузки). Диаграмма рис. 3 также определяет процедуру установления допустимых углов подгибки для отбортованной части заготовки (показано пунктирной стрелкой). Для указанного случая углы подгибки менее 17° являются допустимыми. Эти результаты получены при условии некоторого избытка заготовки для обеспечения торцового сжатия. В случае значительной относительной ширины отбортовки и значительного торцового сжатия может происходить обратный пластический изгиб, который для схемы свободной гибки становится необратимым и является неустранимым дефектом профиля. С другой стороны, при малых углах подгибки относительный радиус изгиба отбортованной части стремится к бесконечности, что соответствует нулевой кривизне отбортовки (см. рис. 3 и формулу (5)).

С технологической точки зрения, схема формовки отбортовки может быть различной в зависимости от ширины несущей полки, толщины заготовки, а также в некоторой степени от ширины отбортовки. Если ширина отбортовки и толщина заготовки небольшие, а ширина несущей полки значительна, то отбортовку можно выполнять на первых переходах на конечный угол подгибки по отношению к несущей полке, а далее выполнять подгибку по принятой схеме формовки. В этом случае отбортовка играет

роль элемента, повышающего жёсткость полки и её сопротивление потере устойчивости в форме выпучивания. Если же размер несущей полки небольшой, а толщина заготовки значительна, то формировать отбортовку следует постепенно по переходам во избежание потери устойчивости в форме излома полки.

Ещё одним фактором, влияющим на формовку отбортовки, является наличие элементов жёсткости профиля в его донной части, особенно когда такие элементы в форме продольных рифтов имеют высоту, соизмеримую с шириной подгибаемых полок (см. рис. 1). Формовка рифтов влечёт за собой боковую утяжку периферийных элементов и их подверженность потере устойчивости. В таком случае формовку отбортовок следует осуществлять также постепенно.

Таким образом, при изготовлении тонкостенных профилей без элементов жёсткости в донной части, отбортовку можно формировать в первых переходах на конечный угол по отношению к несущей полке, а последующие переходы выполнять по схеме, характерной для швеллера с умеренной шириной полок. При наличии рифтов в донной части профиля со значительной толщиной стенок и с небольшой шириной подгибаемой полки, формовку отбортовок следует производить постепенно по переходам с подгибкой отбортовки в каждом из них на угол, не превышающий критический (установленный в данной публикации).

Библиографический список

1. Мищенко О.В., Филимонов В.И. Производство гнутых профилей с отбортовками в роликах методом интенсивного деформирования. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2011. – 122 с.
2. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Интенсивное формообразование гнутых профилей. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 444 с.
3. Halmos G.T., Roll Forming Handbook. – Boca Raton: CRC Press, 2005. – 583 p.

УДК 621.981

**СРАВНИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО ПЕРЕХОДОВ
ДЛЯ ФОРМОВКИ ПРОФИЛЕЙ УСИЛЕНИЯ БОРТА****Гульшин В.А.¹, Филимонов С.В.², Филимонов В.И.³**

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

2 – д.т.н., нач. отдела АО «Аэрокомпозит» (г. Ульяновск),

3 – д.т.н., ВНС АО «Ульяновский НИАТ», профессор

Аннотация: Выполненное тестирование двух моделей определения числа переходов для профилей усиления борта показало их отличия и работоспособность на границе «узкий-широкий» профиль. Ошибка в определении числа переходов не превышает одного перехода.

Ключевые слова: профилирование, метод интенсивного деформирования, профиль усиления борта, модель числа переходов, угол подгибки.

**COMPARATIVE NUMBER OF PASSES FOR BORD
REINFORCING PROFILES****Gulshin V.A.¹, Filimonov S.V.², Filimonov V.I.³**

1 – head of Trainig center of the «Ulyanovsk Mechanical Plant», JSC, k.t.s., asc. prof.;

2 – head of department of the “Aerocomposite”, JSC (city of Ulyanovsk), d.t.s.,

3 – SR of the «Ulyanovsky NIAT», JSC, d.t.s., professor

Abstract. There have been tested two models to calculate the number of passes for board reinforcing profiles. It made it possible to reveal their differences and abilities in the area “narrow-wide” profile. The error in number of steps calculation is less than one pass.

Keywords: roll-forming, intensive deformation method, board reinforcing profile, number of passes model, folding angle.

Разработка технологии производства многоэлементных профилей в горизонтальных валках профилегибочных станков обычно начинается с оценки технологичности изготовления профиля, включая предварительный расчёт числа переходов. Вообще говоря, определение числа переходов до недавнего времени не было формализовано и было основано на предыдущем опыте разработчика и традиции проектирования технологии на том или ином предприятии. Отсутствие научно обоснованной процедуры расчёта числа переходов приводило к необходимости существенной доработки технологического оснащения, а в ряде случаев – к смене типа профилировочного станка, что влекло излишние финансовые издержки.

К настоящему времени наиболее полными по учёту различных факторов являются: модель Т. Халмоса [1] для традиционного

профилирования и модель числа переходов для метода интенсивного деформирования (МИД)[2]. Предположительно, обе модели должны давать близкие результаты для сравнительно простых профилей, формуемых по традиционным схемам (без поворота сечения и необходимости торцового поджатия). В первую очередь, это относится к сравнительно широким профилям с отношением ширины к высоте более трёх. Цель данной публикации состоит в изучении особенностей расчёта и оценке применимости указанных моделей на примере расчётной процедуры для гаммы однотипных профилей усиления борта (рис. 1). Особенность выбора именно этой номенклатуры профилей состоит в том, что в ней один профиль (100x38 мм) может быть отнесён к узким профилям, другой (100x38 мм) – к переходному виду (отношение ширины к высоте близко к трём), а два остальных – к широким профилям. Хотя разделение профилей на узкие и широкие довольно-таки условное, однако в модели числа переходов Джима и Она [3] отличие в результатах расчёта может достигать 4...5 переходов при прочих равных условиях для входящих параметров.

Предварительно дадим общую характеристику модели Т. Халмоса (1). Здесь суммарный угол подгибки полок является неоднородным для многоэлементных профилей и отсутствует указание

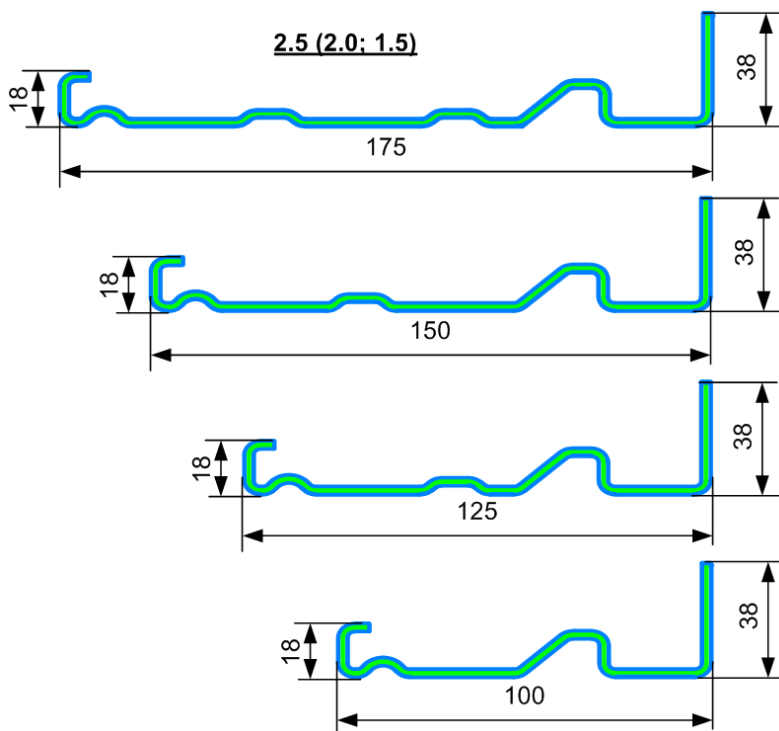


Рис. 1. Однотипные профили усиления борта

относительно выбора полки для расчёта. Кроме того, деление суммарного угла подгибки на 90° , по-видимому, предполагает пригодность модели только для профилей с углами до 90° между подгибаемыми полками и стенкой. Зависимость числа переходов от числа зон изгиба профиля здесь отсутствует, хотя, вероятно, это учитывается косвенно фактором формы F со значениями от 1 до 1,5. Отсутствие зависимости числа переходов от межклетьевого расстояния станка не даёт возможность предотвращения переформовки профиля, чреватой неустраняемыми дефектами. Качество сечения и используемый метод профилирования учитываются аддитивным образом, что эквивалентно конструкторской поправке на число переходов. Интересным способом в модели Халмоса учитывается наличие отверстий и надрезов (хотя и без определения коэффициента z , который должен зависеть от размера, формы и топологии отверстий и надрезов).

Модель Т. Халмоса:

$$N = [0,237 \cdot H^{0,8} + 0,834 \cdot s^{-0,87} + \alpha / 90] \cdot \left[\frac{\sigma_s^{2,1}}{40 \cdot \sigma_b} \right]^{0,15} \cdot F \cdot (1 + 0,5z) + e + f + 5 \cdot z \cdot F, \quad (1)$$

где N – число переходов; H – высота профиля, мм; s – толщина заготовки, мм;

α – суммарный угол подгибки, $^\circ$; σ_s и σ_b – предел текучести и предел прочности материала заготовки, Мпа; F – фактор формы; z – коэффициент учёта наличия отверстий и надрезов; e – добавочное число переходов при поштучном профилировании; f – добавочное число переходов, связанное с точностью поперечного сечения профиля.

Модель (1) является полуэмпирической, имеет размерные коэффициенты и не имеет наглядной геометрической или аналитической интерпретации, однако, тем не менее, она достаточно хорошо работает на множестве профилей простых конфигураций, формуемых традиционным профилированием.

Модель числа переходов для МИД [2] представляется таким образом:

$$N = \frac{H}{L_m \cdot \beta} \left(\sqrt{\frac{s}{k \cdot T}} \cdot \frac{\sigma_s}{\sigma_B} \right) \cdot \sqrt[3]{\frac{B}{W} \cdot n \cdot \alpha}, \quad (2)$$

где; s – толщина заготовки; k – квалитет сечения профиля; T – допуск размера сечения для квалитета k , мм; σ_s , σ_B – предел текучести и прочности материала заготовки соответственно, МПа; H , B – высота и ширина сечения профиля соответственно, мм; W – ширина развертки заготовки, мм; n – число зон изгиба профиля; L_m – межклетьеовое расстояние профилировочного станка, мм; β – предельный угол «стеснения» заготовки, °; α – усреднённый суммарный угол подгибки полок, °.

Модель (2) также является полуэмпирической, но в отличие от модели (1), она имеет состоятельную физическую интерпретацию. Первый сомножитель отражает соотношение высоты профиля и межклетьеового расстояния станка при их стандартном соотношении для данной технологии. Второй сомножитель в скобках отражает параметры точности сечения профиля относительно толщины его стенок. Второй сомножитель в скобках характеризует свойства материала заготовки. Сомножитель, содержащий кубический корень, учитывает «стеснение» заготовки в горизонтальной плоскости и число зон изгиба. Последний сомножитель учитывает суммарный угол подгибки. В сравнении с моделью Халмоса здесь отсутствуют размерные коэффициенты, дробные показатели степени, аддитивность компонентов, так что модель числа переходов для МИД является сугубо мультипликативной.

На рис. 2 приведены результаты тестирования моделей (1) и (2) с помощью программы MathCad2001Pro, оформленные в пакете VISIO-2007. Здесь одиночные линии относятся к модели (2), а граничные линии заштрихованных областей относятся к модели (1).

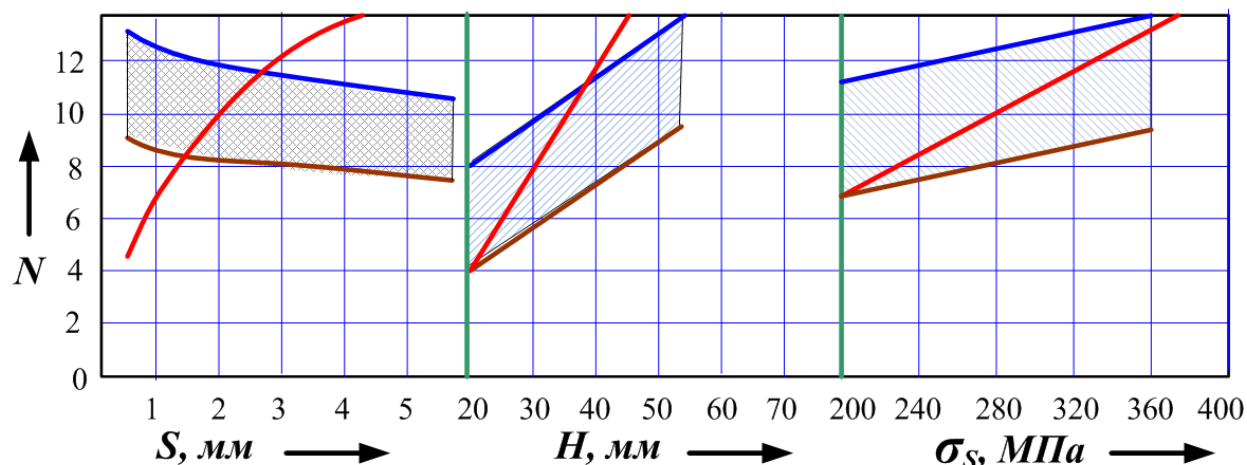


Рис. 2. Зависимость числа переходов от толщины заготовки, высоты профиля и предела текучести материала при фиксированном значении предела прочности в модели МИД (одиночная кривая) и в модели Халмоса (окаймляющие заштрихованной зоны: верхняя линия соответствует максимуму функции формы (1,5), нижняя линия соответствует минимуму функции формы (1,0))

При тестировании моделей полагали, что формовка осуществляется непрерывным образом (не поштучно), профили не имеют перфорации или просечных элементов, аддитивную составляющую точности сечения профиля в модели (1) игнорировали из-за отсутствия описания её использования.

Прогонка моделей по толщине заготовки (графики слева) показывает, что в модели (1) число переходов несколько уменьшается с увеличением толщины заготовки, а в модели (2) – растёт. В 90% случаев, наблюдаемых на практике, число переходов имеет тенденцию к увеличению с ростом толщины заготовки. Исключение составляют весьма тонкостенные профили с широкими полками, где требуется значительное число переходов из соображений предотвращения потери устойчивости элементов.

Прогонка моделей по параметру высоты профиля выявила схожие тенденции моделей, однако модель (2) оказывается более чувствительной к этому параметру. Аналогичная картина наблюдается и в отношении предела

текучести материала заготовки при фиксированном значении его предела прочности. При прогонке моделей по одному из параметров её другие параметры принимались фиксированными на уровне, соответствующем характеристикам профиля, расположенного в нижней части рис. 1.

На рис. 3 приведена программа расчёта числа переходов для узкого профиля из номенклатуры профилей, изображённых на рис. 1.

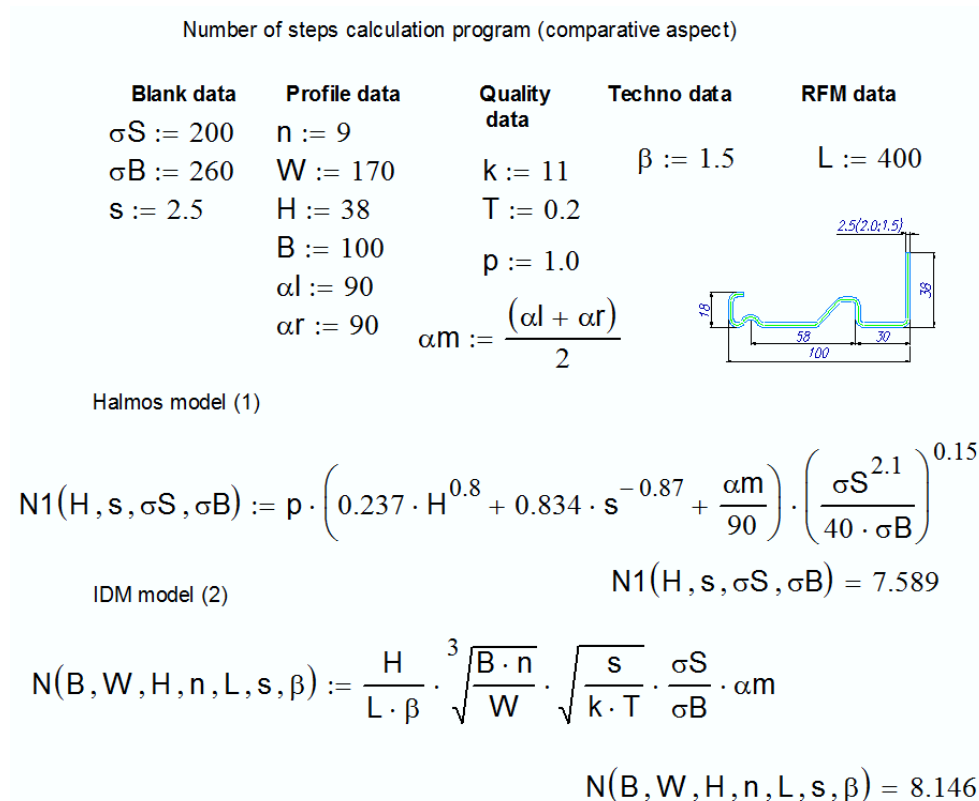


Рис. 3. Программа сравнительного расчёта числа переходов по модели Т. Халмоса (1) и по модели МИД (2)

В исходных данных программы на рис. 3 представлены сведения о заготовке, сечении профиля, качестве изготовления профиля, технологии и оборудовании (межклетьеовое расстояние). Здесь в целом сохранены принятые в моделях обозначения, а параметр p в модели Т. Халмоса соответствует фактору формы F в соотношении (1). Расчёт по обеим моделям приводит примерно к одному и тому же результату. Ниже в таблице приведены результаты расчёта числа переходов по двум моделям для всех

рассматриваемых профилей, причём для модели (1) даны значения по нижнему и верхнему пределу фактора формы.

Таблица 1

Результаты расчёта числа переходов для номенклатуры рис. 1

Профиль	Модель (1) ($p=1,0$)	Модель (1) ($p=1,5$)	Модель (2)
100×38×2,5 мм	7.589	11.383	8.146
125×38×2,5 мм	7.589	11.383	9.444
150×38×2,5 мм	7.589	11.383	9.644
175×38×2,5 мм	7.589	11.383	10.891
100×38×1,5 мм	7.867	11.801	6.31
125×38×1,5 мм	7.867	11.801	7.315
150×38×1,5 мм	7.867	11.801	7.47
175×38×1,5 мм	7.867	11.801	8.436

Представленные в таблице данные вполне соответствуют результатам тестирования моделей по толщине заготовки. В модели (1) изменение толщины заготовки практически не сказывается на числе переходов, однако в модели (2) влияние толщины заготовки достаточно заметно (ср. первые четыре и четыре последующих строки результатов в таблице и результаты прогонки моделей по толщине заготовки на рис. 2). Для толщины заготовки 2,5 мм число переходов в модели (2) полностью укладывается в диапазон значений, ограниченных предельными показателями фактора формы, а для толщины заготовки 1,5 мм число переходов лишь незначительно выходит за нижний предел диапазона значений, полученных по модели (1). Так как конфигурация профиля должна определять фактор формы, то, вероятнее всего, существует определённая корреляция результатов обеих моделей за счёт изменения фактора формы от профиля к профилю (однако в доступных для ознакомления работах Т. Халмоса эти сведения не приводятся). В плане сравнения результатов расчёта с практикой профилирования можно лишь

отметить, что самый широкий из рассмотренных профилей изготавливают за 12 переходов. Таким образом, обе модели можно использовать для предварительного выбора профилегибочного оборудования по числу формирующих клеток (переходов) и следует продолжить их тестирование для возможности их использования в САПР формирующей оснастки.

Библиографический список

1. Roll Forming Handbook / Ed. by G.T. Halmos. Boca Raton: CRC Press. 2006. 583 p.
2. Лапин В.В., Филимонов В.И., Лапшин В.И., Филимонов С.В. Расчёт числа технологических переходов при профилировании заготовки методом интенсивного деформирования // Заготовительные производства в машиностроении, 2014. №2. – С. 24 – 28.
3. Ona H., Jimma T. and Konzono H. A computer aided design system for cold roll forming // Advanced Technology of Plasticity-JSTP, 1984. P. 422-427.

УДК 621.981

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ПРАВИЛЬНО-ГИБОЧНОЙ РОЛИКОВОЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Попов А.Г.,¹ Марковцев В.А.,² Журтубаев А.А.³

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

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

3 – бакалавр 3 года каф. «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

Аннотация. В современном российском авиастроении являются актуальными проблемы изготовления заготовок стрингеров панелей фюзеляжа и крыла из гнутых и прессованных профилей с обеспечения высокого качества профильных деталей и сокращение затрат на технологическую оснастку. Разработанная в ООО «Авиапрофиль» правильно-гибочная роликовая установка УПГР-1 позволит механизированно выполнять правильные и доводочные работы с тонкостенными гнутыми и прессованными профилями с достижением заданных радиусов продольной кривизны и сохранением лакирующего слоя. Использование в УПГР-1 методики «гибки со сжатием» особенно необходимо для работы с профильными деталями со знакопеременной кривизной из высокопрочных алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: гнутый и прессованный профили, заготовка стрингера, продольная гибка, ролики, приводная клеть, высокопрочные алюминиевые сплавы, правка, сжатие.

DEVELOPMENT OF THE CORRECT-BENDING ROLLER INSTALLATION FOR THE PRODUCTION OF PROFILE AIRCRAFT PARTS

Popov A. G.¹, Markovtsev V. A.², Zhurtubaev A. A.³

1 – associate Professor, Candidate of Technical Sciences, kaf. "Materials Science and OMD" UlSTU, Ulyanovsk

2 – General Director, Doctor of Technical Sciences of JSC "Ulyanovsk NIAT", Head of the Department "Technologies of ZSHP" UlSTU, Ulyanovsk

3 – Bachelor 3 years of the department. "Materials Science and OMD" UlSTU, Ulyanovsk

Abstract. In the modern Russian aircraft industry, the problems of manufacturing blanks for stringers, fuselage and wing panels from bent and pressed profiles are urgent in order to ensure high quality of profile parts and reduce the cost of technological equipment. Developed in Aviaprofil LLC, the UPGR-1 correct-bending roller unit will allow mechanized performance of correct and finishing work with thin-walled bent and pressed profiles with the specified radii of longitudinal curvature and preservation of the cladding layer achievement. The use of the "compression bending" method in UPGR-1 is especially necessary for working with profile parts with alternating curvature made of high-strength aluminum alloys.

Keywords: bent and pressed profiles, stringer billet, longitudinal bending, rollers, drive crate, high-strength aluminum alloys, straightening, compression.

В современных российских самолетах МС-21, ИЛ-114 и др. изготовление стрингеров панелей фюзеляжа и крыла самолета осуществляют

путем продольной гибки и правки Z-образных прессованных и гнутых профилей из высокопрочных алюминиевых сплавов на заданные переменные радиусы кривизны соответствующие сложным аэродинамическим поверхностям самолета. При этом существующие технологии изготовления заготовок стрингеров предполагают наряду с основной продольной гибкой многократные дополнительные правки и доводки профильных заготовок после термообработки и механической обработки [1].

На рис. 1 представлена заготовка стрингера из гнутого профиля панели фюзеляжа самолета после продольной гибки на переменный радиус. Продольная гибка гнутых профилей с переменным радиусом осложняется не только низкой пластичностью высокопрочных алюминиевых сплавов, но и наличием на поверхностях профильных деталей лакирующего слоя с низкими механическими параметрами.

Правка и продольная гибка профильных авиационных деталей из прессованных и гнутых профилей на российских авиационных заводах, в т. ч. и на АО «Авиастар-СП», обычно выполняется с использованием специальной гибочной оснастки на обтяжных профилегибочных гидравлических прессах с последующими многократными доводками и правками ударным инструментом.

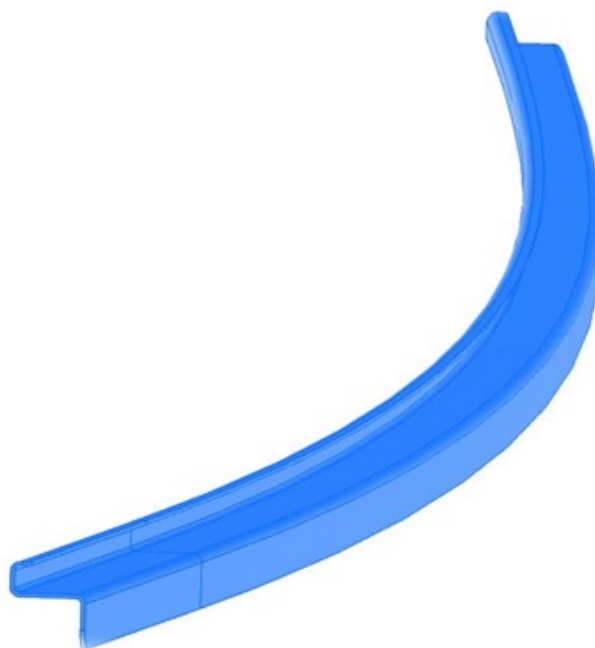


Рис. 1. Заготовка стрингера из Z-образного гнутого профиля панели фюзеляжа самолета с переменными радиусами кривизны.

Наряду с высокими затратами на специальную технологическую оснастку и оборудование, продольная гибка с растяжением предполагает термообработку профилей для обеспечения необходимой пластичности трудно деформируемым авиационным материалам. Многократные правильные и доводочные операции с ударным инструментом, требует высокой квалификации рабочего и больших трудозатрат, а также может привести к повреждению плакирующего поверхностного слоя авиационной профильной детали.

В работах посвященных деформации высокопрочных сплавов отмечается, что сжимающие напряжения на участке деформации в процессах продольной гибки профильных авиационных деталей уменьшают опасность образования трещин на внешнем растянутом волокне при гибки и повышает пластичность металла, что особенно актуально для высокопрочных алюминиевых сплавов [2].

На основании экспериментальных исследований продольной гибки тонкостенных гнутых профилей из высокопрочных алюминиевых сплавов в ООО «Авиапрофиль» совместно с АО «Ульяновский НИАТ» для правильных и доводочных работ разрабатывается установка правильно-гибочная роликовая УПГР-1, кинематическая схема которой представлена на рис. 2.

В состав предлагаемой установки УПГР-1 входят:

- 2-х роликовая приводная прокатная клеть с регулируемым электрическим реверсивным приводом 1 и механизмом смыкания роликов 3;
- 2 гибочных роликовых клетки с механизмами 4 перемещения, механизмами смыкания 6 и механизмами поворота 5 их относительно приводной клетки;
- индикаторы контроля величины перемещения 9 и поворота 10 гибочных клеток относительно приводной клетки;
- подающий и принимающий столы (на рис. не показаны);,
- прибор для определения величины перемещения профильной заготовки в роликах 7 приводной клетки (на рис. не показан).

Особенностью предлагаемой установки УПГР-1 по сравнению с известными роликовыми гибочными установками является:

- горизонтальное расположение профильной заготовки в процессе гибки-прокатки, что позволит обрабатывать заготовки длиной до 10 м;
- выполнение продольной гибки и правки на определенных участках профильной заготовки контролируя перемещение заготовки и гибочных клеток в процессе гибки-прокатки;
- возможность механизированного выполнения скрутки сечения профильной заготовки до 10 градусов на метр в процессе гибки-прокатки;
- создание в роликах 7 приводной клетки (см. рис. 2) сжимающих усилий F_c , которые создают в очаге деформации условия для продольной гибки заготовки стрингера с сохранением формы поперечного сечения.

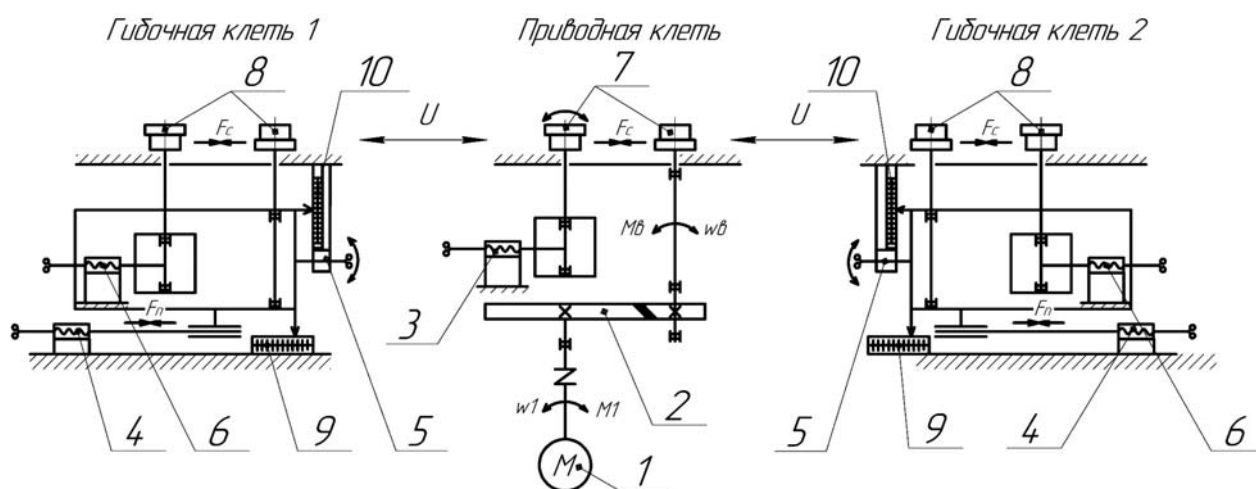


Рис. 2. . Кинематическая схема установки правильно-гибочной роликовой

1 – электродвигатель, 2 – редуктор, 3 - механизм смыкания приводной клетки, 4- механизм перемещения гибочной клетки; 5 – механизм поворота гибочной клетки; 6- механизм смыкания гибочной клетки; 7 – ролики приводной клетки; 8 - ролики гибочной клетки; 9 – индикатор перемещения гибочной клетки; 10 – индикатор поворота гибочной клетки.

Данная технология использована в АО «Ульяновский НИАТ» для правки и продольной гибки профилей на гибочнопрокатных станках ГПС [3].

Библиографический список

1. Горбунов М. Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1981. — 224 с.
2. Лысов М. И., Сосов Н. В. Формообразование деталей гибкой. - Машиностроение, 2001. – 388 с.
3. Марковцев В.А. Формообразование стесненным изгибом в роликах и правка гнутых тонкостенных профилей / В.А. Марковцев, В.И. Филимонов. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006. – 244 с.

УДК 621.981

**ОДИН ИЗ ВАРИАНТОВ ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА
ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ****Турундаев К.В.**

*к.т.н., ведущий инженер-конструктор АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск
e-mail: ulniat2012@rambler.ru*

Аннотация. Статья посвящена вопросам повышения качества профилей для продольно – поперечного силового набора летательных аппаратов. Автор решает задачу выбора технологии изготовления профилей по требуемым показателям качества. Разработана схема методов изготовления профилей, даны технологические рекомендации.

Ключевые слова: профиль, метод интенсивного деформирования, профилирование, летательный аппарат

A WAY TO IMPROVE THE QUALITY OF PROFILES FOR AIRCRAFT**Turundaev K.V.**

*Ph.D., leading design engineer, JSC "Ulyanovsk NIAT", the city of Ulyanovsk
e-mail: ulniat2012@mail.ru*

Abstract. The article is devoted to the issues of improving the quality of profiles for the longitudinal - transverse power set of aircraft. The author solves the problem of choosing a technology for manufacturing profiles according to the required quality indicators. A scheme of methods for making profiles has been developed, and technological recommendations have been given.

Keywords: profile, intensive deformation method, profiling, aircraft

Важной проблемой при производстве изделий авиакосмической техники является изготовление профилей обладающих высокими показателями качества [1]. Это определяется требованиями снижения стоимости изделия, увеличение срока эксплуатации летательных аппаратов и т.д.

Существуют различные методы и соответствующие им устройства, для получения профилей, характеризующиеся рядом способов. Каждый из этих методов обладает положительными и отрицательными сторонами. Соответственно, каждый из этих методов занимает свою нишу в производстве профилей. Характер занимаемой ниши определяется по следующим факторам:

1. Для чего профиль будет использоваться (показатель качества назначения).

2. Требуемые и необходимые допуски на линейные размеры профиля (показатель качества технологичности, экономичности).

3. Геометрия зоныгиба, т.е. какой требуется внутренний радиусгиба, необходимы ли локальные утолщения (показатель качества технологичности, надежности, экономичности).

4. Применяемые материалы (титановые, алюминиевые, алюминиево-литиевые сплавы, сталь, полимерно-композиционные), а также насколько он пластичен (показатель качества технологичности, надежности, экономичности).

5. Типоразмеры профиля – его высота, ширина, длина (показатель качества технологичности, экономичности).

6. Наличие соответствующего оборудования по производству профилей на производстве (показатель качества технологичности, экономичности).

Различные методы изготовления профилей сведены в схему (рис.1) разработанную автором, причем характеризующим признаком деления является место приложения тягового усилия для получаемого профиля:

1. Перед областьюгиба, что характерно для метода получения профилей прессованием. При этом приложение тягового усилия можно рассматривать как одноточечное и направленное относительно продольной оси профиля.

2. В областигиба. При этом, приложение тягового усилия в зависимости от метода будет:

2.1. Многоточечное, т.е. тяговое усилие распределено дискретно, через определенное расстояние и направлено относительно продольной оси. Это характеризует метод получения гнутолистовых профилей в роликах.

2.2. На всей длине областигиба, т.е. тяговое усилие направлено перпендикулярно продольной оси профиля. Это характерно для метода получения профилей штамповкой, на кромкогибе.

3. За областьюгиба, что характерно для метода получения профилей волочением через инструментальную фильеру. При этом тяговое усилие направлено относительно продольной оси.

Далее рассмотрим более подробно методы получения профилей, а также их преимущества и недостатки.

Метод изготовления гнутолистовых профилей в роликовых парах делится на следующие варианты: метод стесненного изгиба (СИ) [2], метод интенсивного деформирования (МИД) [3], традиционное профилирование (ТП) [4]. Общий принцип заключается в прохождении заготовки (лист, штрипс) через ряд последовательно расположенных роликовых пар (рис.2) [2]. Движение заготовки обеспечивается за счет вращения вокруг своей оси профилегибочных роликов. При этом заготовка подвергается постепенной гибке на каждом переходе, до придания требуемого сечения профиля.

Между собой ТП, МИД и СИ отличаются в положении нейтрального слоя деформации (НСД) относительно средней линии по толщине профиля в зонегиба. При ТП в зонегиба НСД смещается ближе к внутреннему радиусу, при СИ в зонегиба НСД смещается к внешнему радиусу, а при МИД в зонегиба НСД совпадает со средней линией (рис.3) [3]. Так как металл лучше выдерживает сжимающие нагрузки, чем растягивающие, то соответственно наиболее благоприятные условия в зонегиба будут у МИД и СИ.

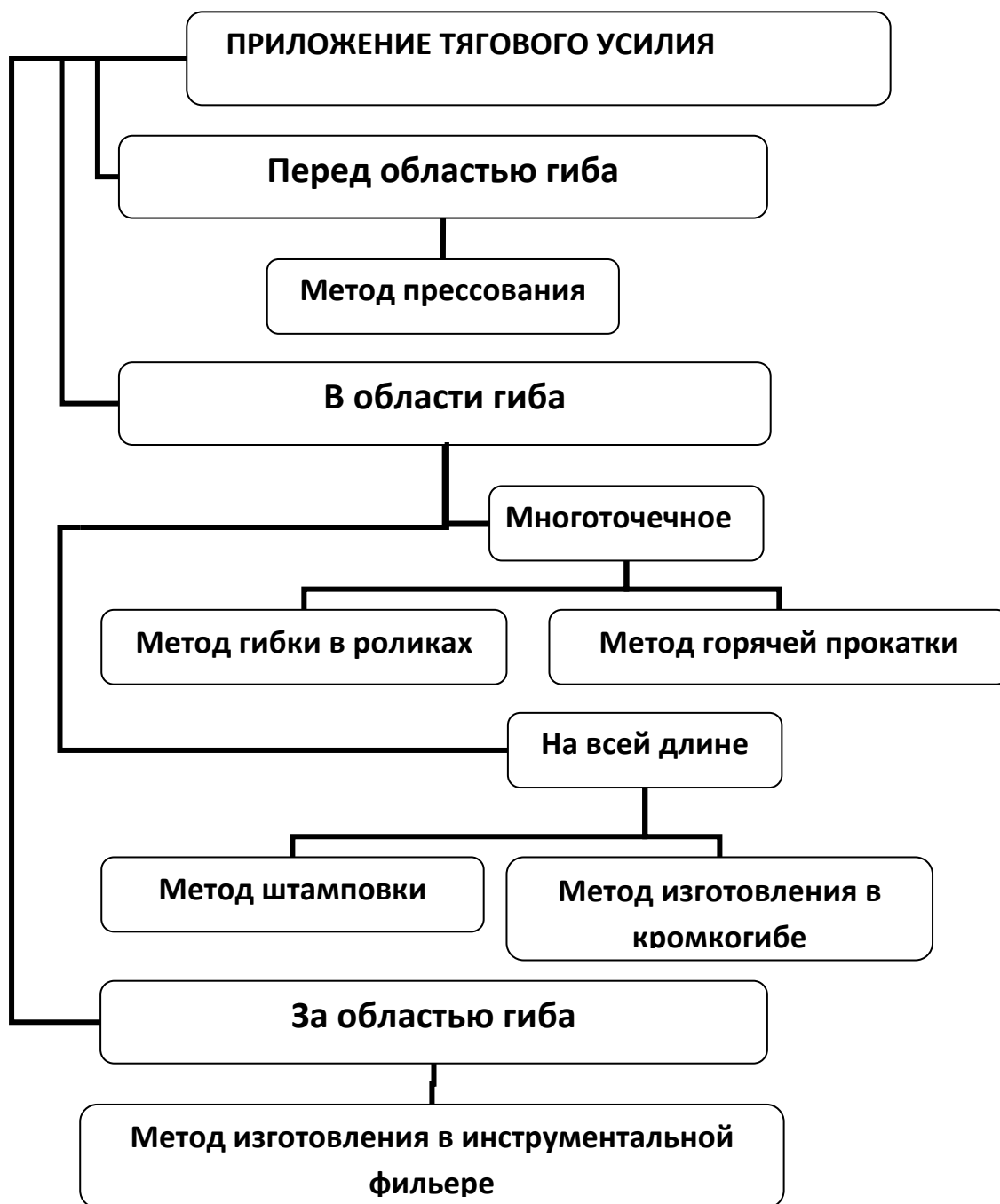


Рис. 1. Схема методов изготовления профилей

Общим преимуществом данных вариантов получения профилей в роликовых парах (ТП, МИД, СИ) по сравнению с другими методами является:

1. Наличие трения качения вместо трения скольжения, что уменьшает дефекты поверхности (сдир, потиры и т.д.) и повышает показатели качества профиля (технологичности, эстетичности, надежности).

2. Возможность получения длинномерных профилей (более 3,5-6 метров) без уменьшения показателей качества профиля (технологичности, экономичности).

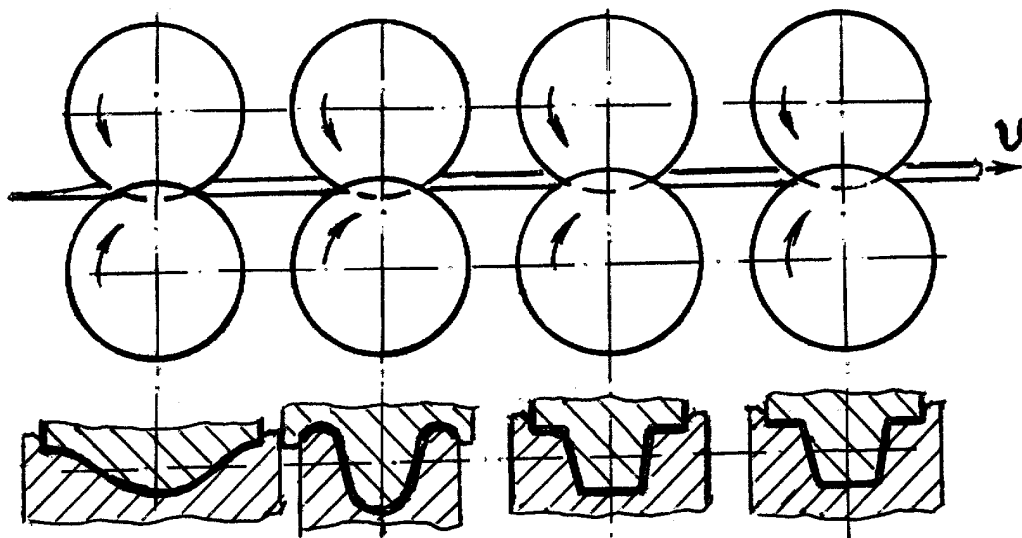


Рис. 2. Схема прокатки в профилегибочных роликах

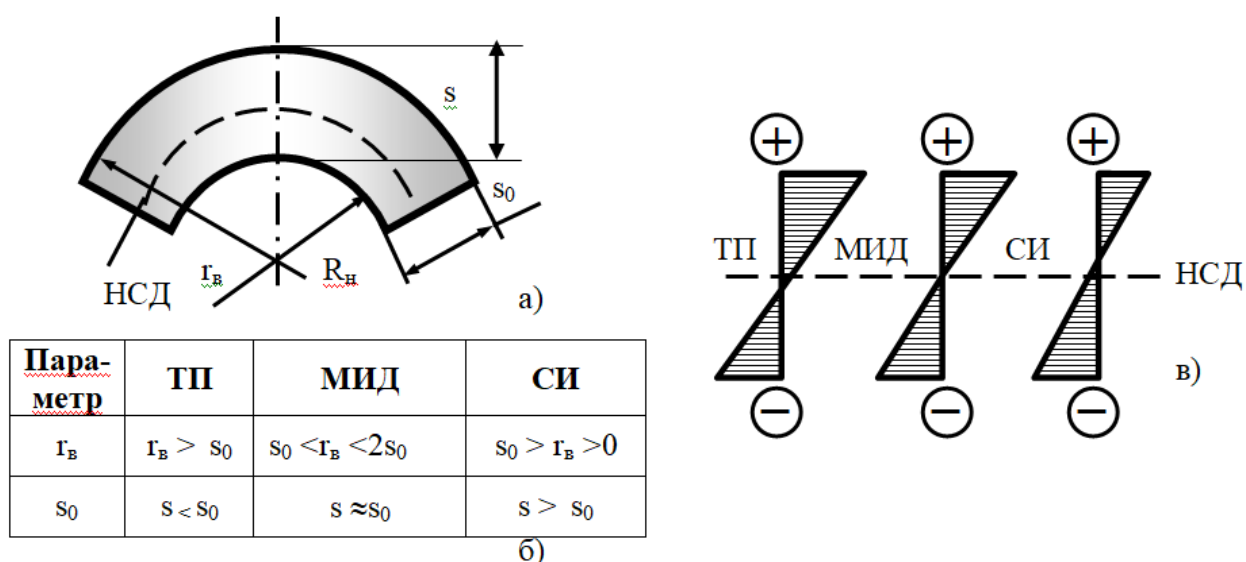


Рис. 3. Угловая зона и окружные деформации при различных методах изготовления профиля в роликах: а – зона сгиба; б – характеристики методов; в – эпюры окружных деформаций

3. Возможность получения профилей сложного сечения (кроме метода прессования) без уменьшения показателей качества (технологичности, экономичности), за исключением метода СИ.

4. Возможность получения идентичного поперечного сечения на каждом профиле по сравнению с кромкогибом, что повышает показатель качества технологичности.

Отрицательной стороной метода ТП является невозможность получить внутренний радиусгиба менее трех толщин заготовки, а также имеем большой разброс по высоте полок профиля (на уровне 14 квалитета), что уменьшает показатель качества (назначения, технологичности, надежности, экономичности). Также имеем большую металлоемкость станов (длина более 10-20 метров) [4] и роликовой оснастки, что экономически оправдано для крупносерийного и массового производства, но при мелкосерийном производстве имеет низкий показатель качества.

Вышеописанные отрицательные стороны метода ТП устраняются методом СИ, который позволяет получать не только нулевые внутренние радиусагиба, но также набирать локальные утолщения, идентичные прессованным профилям. Это достигается приложением торцевой нагрузки на заготовку за счет избытка ширины заготовки, что конструктивно в роликовой оснастке отражается в наличие закрытого рабочего калибра.

Но методом СИ возможно получать только профили простого сечения, что достаточно для многих авиационных конструкций, но не является удовлетворительным для применения в других отраслях народного хозяйства.

Этот пробел устраняет МИД, в котором отсутствует мощное торцевое поджатие, и соответственно позволяет получать сложные сечения с внутренними радиусамигиба равными толщине материала.

Общими недостатками методов СИ и МИД являются наличие продольной кривизны, саблевидности, скрутки профилей, что требует

применения правки. Также из-за наличия вертикальных буртов возможно нарушение защитного покрытия профилей, при контакте бурта с боковой полкой профиля.

Существует метод изготовления профилей в кромкогибе. Данный метод имеет свою нишу в силу своей простоты конструкции оборудования и т.д. Суть метода заключается в придании изгибающего момента заготовке относительно зоныгиба (рис.4) [3].

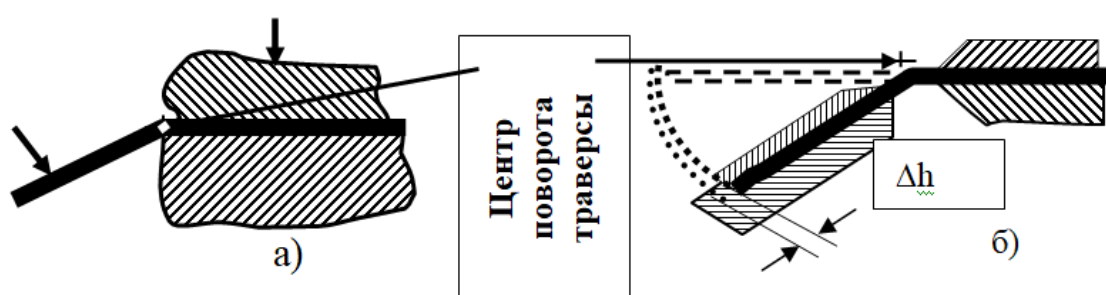


Рис.4. Метод изготовления профиля в кромкогибочных машинах:

а) – свободная гибка; б) – стесненный изгиб

У данного метода есть ряд преимуществ:

1. Простота конструкции и малая металлоемкость, что повышает показатель качества (технологичности, экономичности).

2. Позволяет вести гибку заготовок из полимерно-композиционных материалов, АЛОРа [2,3] и т.д., что другими методами весьма проблематично, соответственно это повышает показатель качества (назначения, технологичности, экономичности, надежности).

Но также имеется ряд недостатков:

1. Невозможность получения длинномерных профилей, что снижает показатель качества назначения.

2. Невозможность получения идентичных профилей, большой допуск на линейные размеры, что снижает показатель качества.

Изготовление профилей методом штамповки давно и уже тщательно проработан. Существуют различные способы и устройства по осуществлению данного метода (рис.5) [2]. Метод штамповки позволяет получать высокую точность по линейным размерам, порядка 8-10 квалитета, что повышает показатель качества. Но возникают трудности при изготовлении профилей сложного сечения, что уменьшает показатель качества назначения. Также очень большие трудности в получении длинномерных профилей, что снижает показатель качества (назначения, технологичности).

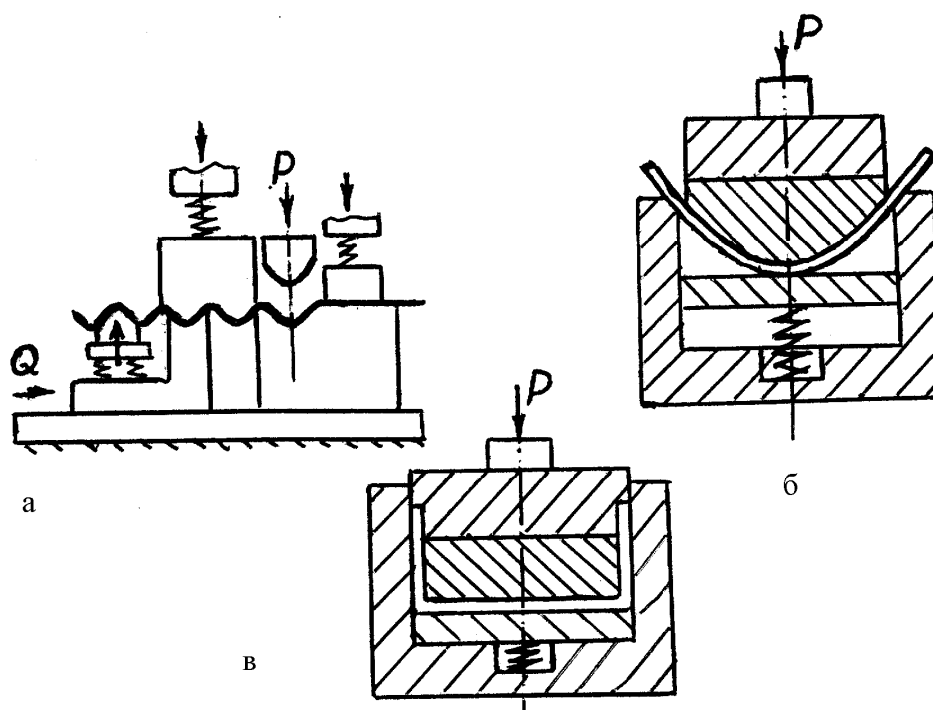


Рис.5. Метод изготовления профилей штамповкой:

а – изготовлении гофролиста; б – первый этап штамповки с противодавлением (гибка на большой радиус); в – последний этап штамповки.

Существует давнишний метод изготовления профилей с использованием инструментальной фильеры (рис.6) [2]. Суть заключается в волочении заготовки через инструментальную фильеру с приложением тягового усилия на выходе P_B . При избытке заготовки создается схема СИ с торцевым

поджатием, что дает возможность получения нулевых внутренних радиусов и создания локального утолщения.

У данного способа есть ряд недостатков:

1. Утонение заготовки вследствие приложения тягового усилия за инструментальной фильерой и дальнейшей его передаче через профиль в областьгиба. Все это приводит к уменьшению показателей качества (надежности).

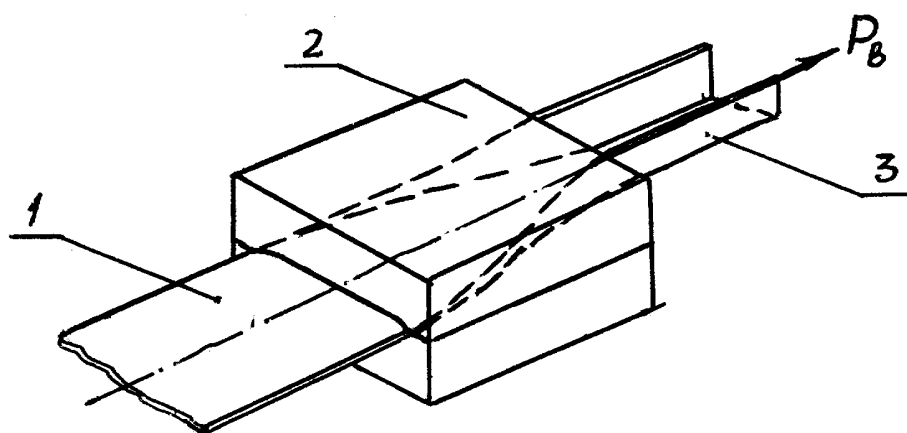


Рис.6. Метод изготовления профилей с использованием инструментальной фильеры: 1 – листовая заготовка; 2 – фильера; 3 – профиль

2. Нарушение поверхностного слоя (плакировка и т.д.) вследствие больших контактных напряжений из-за большого трения скольжения, что приводит к уменьшению показателей качества (надежности).

3. Ограниченность длины получаемого профиля вследствие технологических особенностей, что приводит к уменьшению показателей качества назначения.

4. Малопроизводительность процесса получения профилей, что приводит к уменьшению показателей качества технологичности, экономичности.

Таким образом, анализ технологии изготовления профилей позволяет на проектной стадии закладывать требуемые показатели качества профилей с

минимальными капитальными затратами, т. е. оптимизировать параметры оборудования и инструмента.

Библиографический список

1. Мазур, И.И. Управление качеством [Текст] / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро. - 2-е изд. - М.: Омега-Л, 2005. -400с.
2. Колганов, И.М. Процессы стесненного изгиба при различных методах формообразования [Текст] / И.М. Колганов. - Ульяновск: УлГТУ, 2001. - 108с.
3. 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.
4. Тришевский, И.С. Производство и применение гнутых профилей проката [Текст] / Под ред. И.С. Тришевского. - М.: Металлургия,1975. – 536 с.

Секция 2

«Инженерный анализ и автоматизация»

УДК 621.7.044

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕРАЗЪЁМНОЙ СБОРКИ
ТРУБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОМ
НАГРУЖЕНИИ****Астапов В.Ю.***к.т.н., доцент, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет, кафедра «Технология производства ЛА», г. Москва*

Аннотация. Рассматриваются вопросы моделирования процесса магнитно-импульсного деформирования одной из трубчатых деталей на другую и образования их неразъёмных соединений. Это позволяет выполнить отработку технологических режимов деформирования и динамического взаимодействия трубчатых конструкций.

Ключевые слова: магнитно-импульсное деформирование, трубчатая заготовка, моделирование процесса неразъёмной сборки

**MODELLING PROCESS ONE-PIECE ASSEMBLY OF TUBULAR
PARTS BY MAGNETIC IMPULSE LOADING****Astapov V.Yu.***PhD, associate Professor, Moscow Aviation Institute (National Research University), department of Aircraft technology, Moscow*

Abstract. The issues of modeling the process of magnetic-pulse deformation of one of the tubular parts to another and the formation of their permanent joints are considered. This allows the development of technological modes of deformation and dynamic interaction of tubular structures.

Keywords: magnetic pulse loading, tubular parts, modelling process of assembly.

В конструкциях летательных аппаратов широко используются жидкости и газы в качестве носителей энергии, преобразующейся в двигательных установках или гидро- и пневмоусилителях, а также в качестве охладителей, смазочных материалов или в пневмопроводах для обеспечения жизнедеятельности экипажа и пассажиров. Топливные и пневматические системы современных ЛА содержат большое количество трубопроводов, емкостей для компонентов топлива, агрегатов автоматики, регулирующих их подачу. Автоматизация и механизация управления полетом широкофюзеляжных и среднемагистральных ЛА приводит ко все более широкому внедрению гидро- и пневмосистем. К соединениям трубопроводов предъявляют весьма жесткие требования: обеспечение высокой герметичности при всех условиях эксплуатации, высокую вибропрочность,

минимальную массу, способность выдерживать заданное число циклов работы при сохранении высокой герметичности, технологичность изготовления. Эти требования определяют прежде всего вид соединений трубчатых деталей, их материал, которые выбирают в зависимости от рабочих параметров: давления, температуры, диаметра, толщины стенки трубы, необходимой точности стыковки при монтаже [1]. Типовые соединения трубчатых деталей представлены на Рисунке 1.

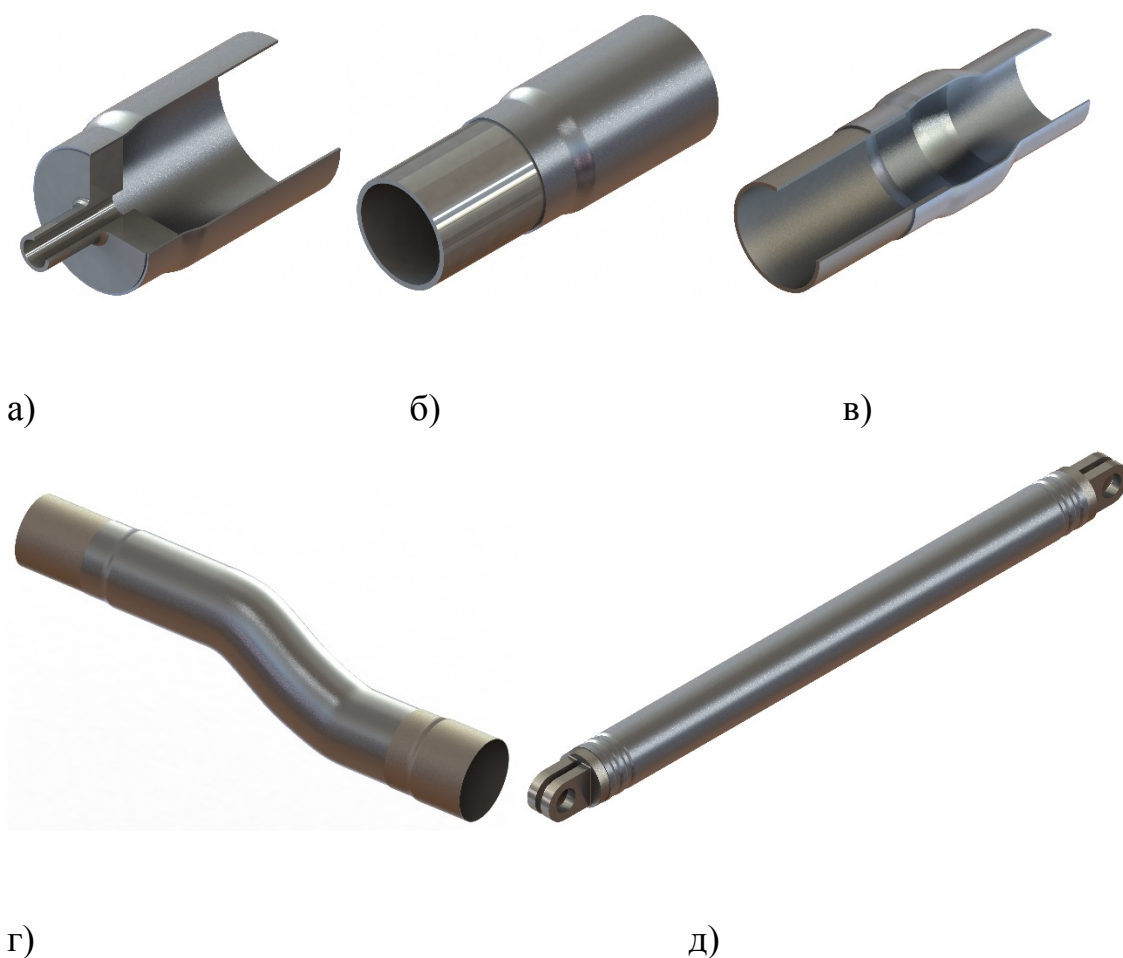


Рисунок 1 – Общий вид неразъёмных трубчатых соединений:
а – труба с ниппелем, б, в, г – различные виды биметаллических
соединений трубопроводов, д – тяга

Одним из вариантов технологии изготовления таких трубчатых соединений является метод магнитно-импульсного деформирования, заключающийся в образовании неразъёмных соединений трубчатых

конструкций посредством воздействия давлением импульсного магнитного поля на одну из деталей, в результате которого она перемещается в направлении другой детали и соединяется с ней. Схема магнитно-импульсной сборки и основные её элементы представлены на Рисунке 2.

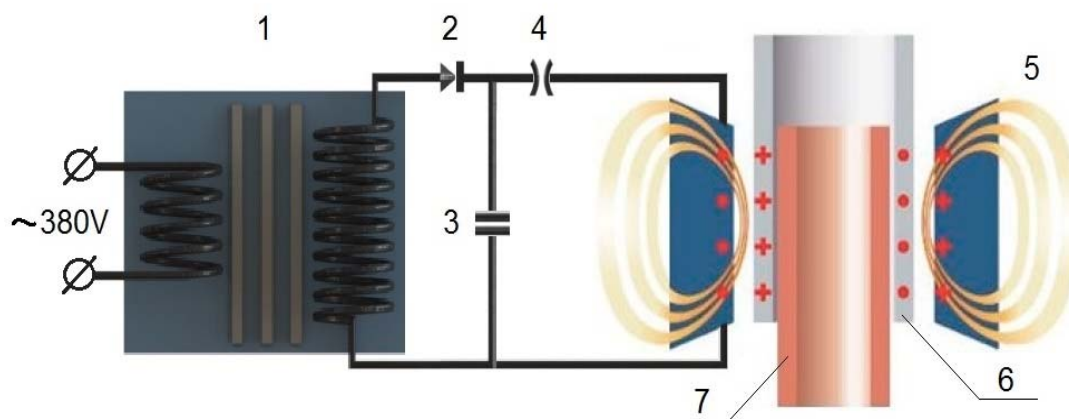


Рисунок 2 – Схема магнитно-импульсной сборки: 1 – трансформатор, 2 – выпрямительное устройство, 3 – конденсаторная батарея, 4 – разрядник, 5 – индуктор, 6, 7 – соединяемые трубчатые заготовки

Однако расчет режимов магнитно-импульсного деформирования, который является сложным электромеханическим процессом, является весьма затруднительным и требует значительных усилий расчетов, связанных с механическими и электрическими параметрами заготовки, параметрами магнитно-импульсной установки, параметрами индуктора, а также уточнения и последующей отработки на технологическом оборудовании [2,3].

В некоторых работах [4–6] приводятся результаты моделирования оснастки и технологических процессов для решения задач магнитно-импульсного деформирования и формообразования трубчатых конструкций. Одновременно при моделировании процессов деформирования и формообразования возможно использование следующих пакетов программ: ANSYS, LS-DYNA, ALTAIR HYPER MESH, ABAQUS и других. Также в нашем случае важным являлась возможность решения связанных нелинейных

динамических задач с учётом явлений электромагнетизма, тепловых эффектов и процессов деформации. По нашему мнению, на данный момент наиболее подходящим для решения подобных задач является многоцелевой конечно-элементный комплекс LS-DYNA. Твёрдотельное моделирование проводилось на мелкой трехмерной сетке с большим количеством элементов и малым шагом по времени. При создании компьютерной модели одновременно использовался пакет HyperMesh для генерации мелкой объемной сетки и геометрических параметров твердотельных трехмерных 3Dмоделей, на создании моделей трубчатых деталей нет смысла подробно останавливаться, поэтому переходим к этапу моделирования.

Далее решается тестовая задача в программе LS-DYNA при изменении давления импульсного магнитного поля в диапазоне от нулевого значения до значения, обеспечивающего плотное и прочное соединение (в нашем случае значение зарядки конденсаторной батареи составляло до 6 КВт). С целью определения кинематических и динамических характеристик процесса образования соединения был смоделирован процесс соединения двух трубчатых заготовок посредством операции «обжим» внешней трубы на внутреннюю под воздействием деформирующего давления импульсного магнитного поля. На Рисунке 3 – (1) показана конечная деформация трубчатых заготовок для различных геометрических параметров соединяемых трубопроводов и различных материалов. По цвету деформируемой детали в соответствии со шкалой цветов, представленной справа, можно определить в итоге эту конечную деформацию трубы, на которую воздействует деформирующее усилие импульсного магнитного поля. Представлены варианты моделирования образования соединений со следующими принятыми размерами трубопроводов: размеры внутренней трубы – $d=20 \times 1,5$; размеры наружной трубы – $D=24 \times 1,5$; причём соединяемые трубопроводы выполнены из наиболее применяемых в авиастроении сочетаний разнородных материалов. При этом красная зона представляет собой зону герметичных неразъемных соединений типа сварки. Эта зона уменьшается с возрастанием прочностных свойств материала и уменьшается также с возрастанием геометрических размеров труб,

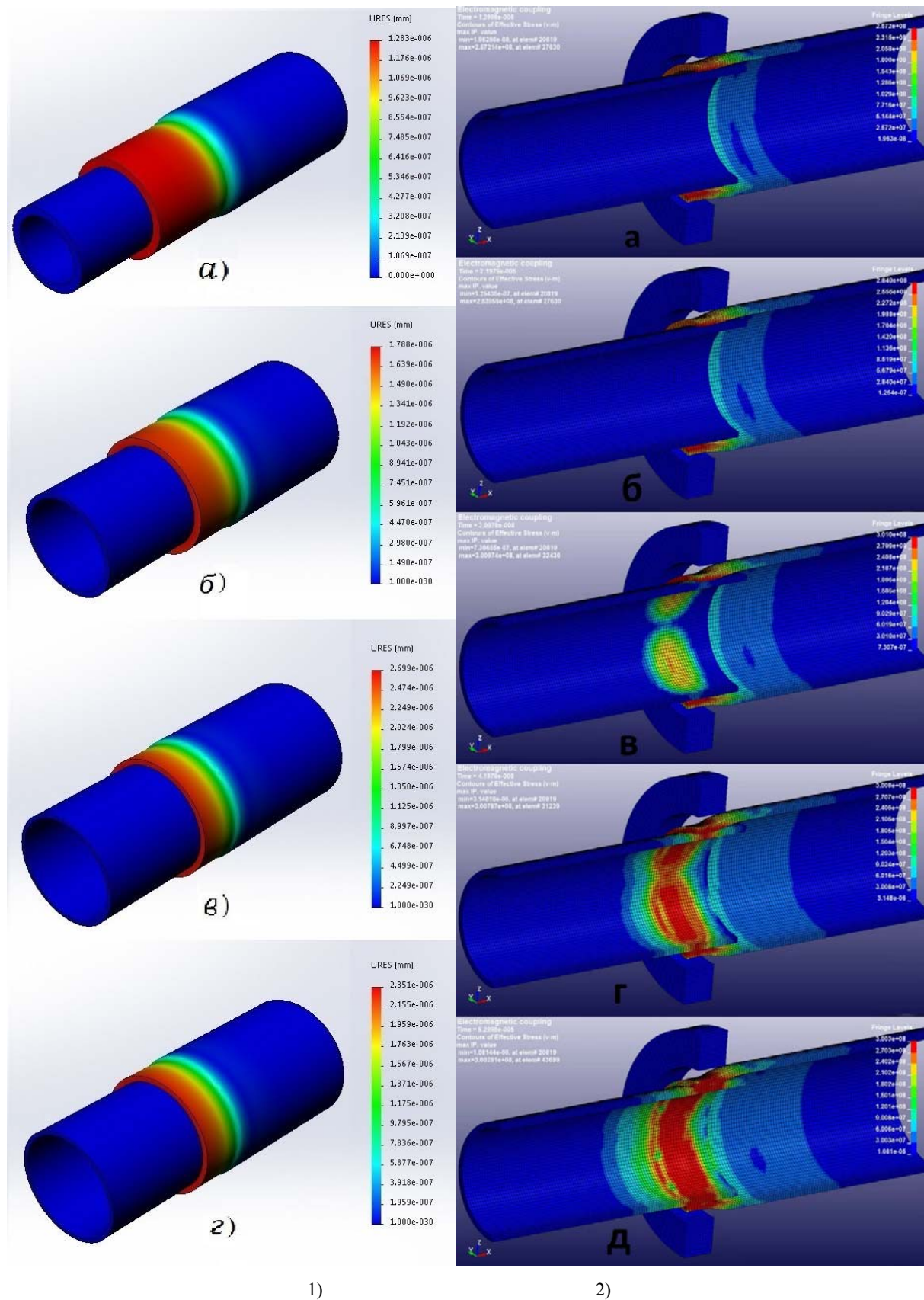


Рисунок 3 – Последовательность образования суммарной деформации заготовок: 1 – диаметры деформируемых труб 13 мм (а), 23 мм (б), 34 мм (в), 34 мм (г), 2 – контактные напряжения

учитывая, что ширина зоны воздействия моделируемого давления импульсного магнитного поля оставалась во всех моделируемых экспериментах неизменной. Следует отметить, что на рисунках специально не изображаем внутренние оправки, которые в реальных условиях будут при этом выполнении подобных соединений присутствовать, это сделано для того, чтобы не произошло искажение поверхности внутренней трубы, но это учитывается при моделировании процесса в виде некоторой жесткой недеформируемой опоры.

С целью наиболее удобного анализа и наглядности итогового решения по определению зоны и значений контактных напряжений заготовки и индуктора на Рисунке 3 – (2) представлено возникновение контактных напряжений по времени. Для удобства и наглядности изображения и анализа цветного изображения выполнен половинчатый разрез, что позволяет увидеть возникшие к зоне образования соединений и в прилегающих к ней зонах контактные напряжения, значения которых можно определить, сравнив цвета в разрезе с расположенной справа шкалой соответствия цветовых значений. Моделирование позволяет увидеть наглядно перемещение деформируемой трубчатой заготовки, которое связано не только с изменением ее цвета, но и наглядно увидеть образование самого соединения и определить зону и значения возникающих между трубчатыми заготовками контактных соединений в соответствии с изменением цвета по времени. Отработка моделируемых режимов проведения технологического процесса при магнитно-импульсном воздействии деформирующего усилия велась для различных диаметров и различных вариантов сочетаний материалов соединяемых труб с варьированием деформирующего усилия давления импульсного магнитного поля.

Таким образом, проведение моделирования в конечно-элементном комплексе LS-DYNA позволяет создать наиболее полные модели деформирования при приложении магнитно-импульсного воздействия на

одну трубчатых заготовок, учитывающие многообразие факторов, действующих на эту заготовку в процессе деформирования, включая поведение заготовки при деформировании, соединение со второй заготовкой и их прочную сборку. Также важным моментом является анализ результатов расчета и сравнение их с экспериментами. Конечно-элементный комплекс LS-DYNA, позволяет при варьировании параметров магнитно-импульсного процесса, геометрических размеров заготовок и технологической оснастки определить требуемые значения перемещений стенки заготовки и эффективно отработать режимы сборки трубчатых заготовок с требуемыми формами поверхностей, размерами деталей и заданными характеристиками материалов.

Библиографический список

1. Технология изготовления трубопроводов летательных аппаратов: Учебное пособие / И.Н. Анкудинов, В.С. Лобанов, В.Ф. Присняков, О.Г. Ключко. – М.: Машиностроение, 1985. – 160 с., ил.
2. Astapov V.Y., Usachev E.V., Khoroshko L.L., Tajdari M., Amouei A.M., Hosseini Mehraban S.E. FORMING OF AXISYMMETRIC TUBES UNDER THE INFLUENCE OF IMPULSE-MAGNETIC FIELD AND COMPUTER SIMULATION OF THE PROCESS. *Journal of Materials Processing Technology*. 2006. Т. 177. № 1-3. С. 274-277.
3. Астапов В.Ю., Афшари П. Моделирование процесса магнитно-импульсной сборки трубчатых конструкций. XL Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королева – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 26-29 января 2016 г., с. 416-417
4. Астапов В.Ю., Джоздани М.С. Влияние параметров магнитно-импульсной формовки окантовок люков на их характеристики // Кузнечно-штамповочное производство. 2011. № 12. С. 14-18.

5. Астапов В.Ю., Хорошко Л.Л., Афшари П., Хорошко А.Л. САПР при моделировании режимов технологических процессов производства элементов конструкций летательных аппаратов Труды МАИ, вып. № 87. 05/31/2016, www.mai.ru/science/trudy/
6. Астапов В.Ю., Хорошко Л.Л., Афшари П., Хорошко А.Л. Применение САПР для моделирования и исследований магнитно-импульсной сварки трубчатых конструкций. Журнал «Труды МАИ», выпуск № 96, 10/31/2017. Раздел «Системы автоматизации проектирования».
7. Астапов В.Ю., Афшари П. Сборка трубчатых конструкций из разнородных материалов локальным импульсным воздействием. XLII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королева – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – с. 367, ISBN 978-5-7038-4849-4
8. Астапов В.Ю., Афшари П. Применение магнитно-импульсной сварки трубчатых конструкций для изготовления неразъемных соединений. В книге: XLI Академические чтения по космонавтике. Сборник тезисов чтений, посвященные памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства. 2017. С. 450-451.

УДК539.3

**ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ
СТАЛЬНОГО КОЛЬЦА В ЖЕСТКОЙ ОБОЙМЕ****Егоров А.В.**

*к.т.н., доцент каф. «Космические аппараты и ракеты-носители» МГТУ
им. Н.Э. Баумана, Москва*

Аннотация. Исследована устойчивость тонкостенной контактно стесненной оболочки (кольца), ограниченной жесткой цилиндрической обоймой при температурном нагружении. Уделено внимание учету начальных несовершенств в виде технологических отклонений: местных вырезов и выступов на кольце и в обойме. Исследование проведено численно, построена трехмерная модель, где конструкция кольцо — обойма смоделированы объемными конечными элементами. Достоверность построенной в рамках методологии динамического анализа конечно-элементной модели подтверждена сравнением с экспериментом.

Ключевые слова: устойчивость цилиндрических оболочек, оболочечные конструкции, локальная потеря устойчивости, локальная внутренняя деформация, начальные несовершенства конструкции, металлокомпозитные баллоны, переменность толщины лайнера, конечно-элементное моделирование.

**VALIDATION OF THE STABILITY LOSS MODEL
OF A STEEL RING IN A RIGID CASE****Egorov A.V.**

*Cand. Sc. (Engineering), Assoc. Professor at the Spacecraft and Launch Vehicles Department of
Bauman Moscow State Technical University, Moscow*

Abstract. The paper considers the stability of a thin-walled contact-constrained shell (ring) bounded by a rigid cylindrical cage under temperature loading. Attention is paid to taking into account the initial imperfections in the form of technological deviations: local cuts and protrusions on the ring and in the cage. The study was carried out numerically, a three-dimensional model was built, where the ring—cage structure was modeled by volumetric finite elements. The reliability of the finite element model constructed within the framework of the dynamic analysis methodology is confirmed by comparison with experiment.

Keywords: stability of cylindrical shells, shell structures, local buckling, local internal deformation, initial design imperfections, metal-composite vessels, high pressure vessels, variable liner thickness, critical load, finite element simulation.

В авиационной и ракетно-космической технике, автомобилестроении, гражданском строительстве существует ряд конструкций, в которых тонкостенные оболочки находятся во внешней ограничивающей среде, что при нагружении ведет к одностороннему деформированию таких оболочек и внутреннему локальному изгибу (внутреннему выпучиванию). Поскольку для обеспечения надежной работы подобных трансверсально стесненных оболочек (например, лайнеров в металлокомпозитных баллонах или

трубопроводов) локальная потеря устойчивости недопустима, расчетам на устойчивость контактно-стесненных оболочечных конструкций всегда уделялось большое внимание [1]. Так, в области расчета на устойчивость оболочек появилось направление устойчивости колец и оболочек (в первую очередь цилиндрических), окруженных жесткой или деформируемой средой.

В настоящее время при исследовании устойчивости цилиндрических оболочек с жесткой внешней средой наиболее распространена расчетная схема двухслойного кольца, представленная на рис. 1. При температурном нагружении или под воздействием прессового давления тонкостенные металлические кольца могут потерять устойчивость. Это обусловлено выпучиванием такого кольца внутрь жесткой обоймы, запрещающей ему радиальные внешние перемещения.

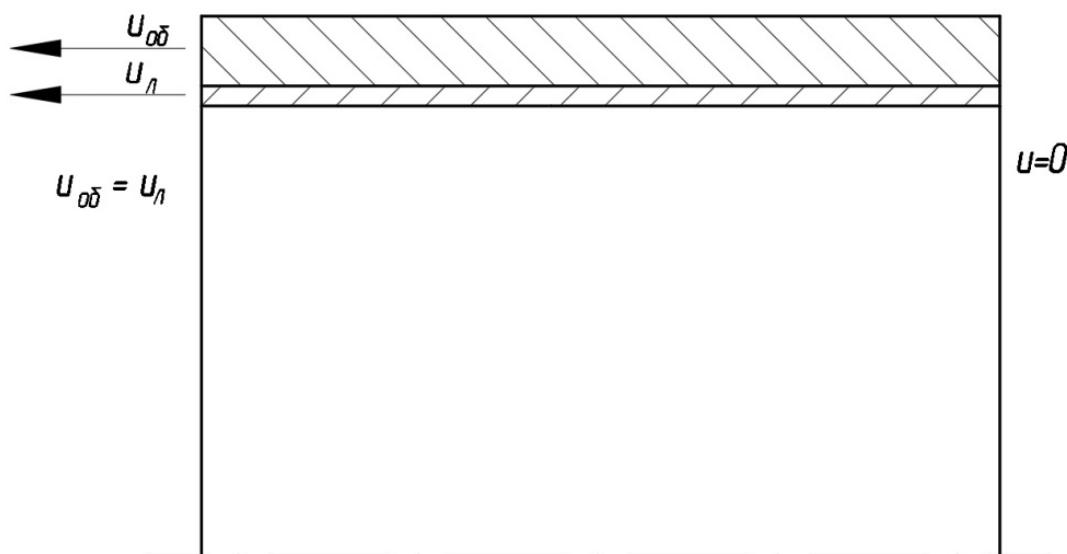


Рис. 1. Расчетная схема двухслойного кольца

Для анализа напряженно-деформированного состояния контактно-стесненных оболочечных конструкций на примере расчета трансверсально-стесненного стального кольца на локальную устойчивость применим методологию динамического анализа[2, 3]. В расчетную схему (см. рис. 1) введем технологические отклонения — вырез в обойме и промятие в кольце,

которые имитируют дефекты, которые могут встречаться при производстве баллонов (например, местное утонение или утолщение, или просечку лейнера). Эти отклонения имеют форму кольцевого сектора (по несвязанным секторам), который по толщине составляет часть полной толщины кольца и обоймы. Пусть длины дуг кольцевых секторов будут разными. Благодаря неглубокому внутреннему вырезу в обойме металлическое кольцо с промятием (глубины выреза и выступа равны) при нагреве может деформироваться в его сторону и приобретать местный наружный изгиб, т.е. проминаться в зазор, который обусловлен вырезом в обойме. Затем с течением времени происходит внутреннее выпучивание кольца, формируется начальная форма выпуклости, которая переходит в устойчивую форму в виде «внутреннего лепестка». Следует отметить, что при разных технологических отклонениях можно наблюдать различную форму предварительно образующейся выпучины. Однако вид устойчивой формы одинаков — «лепесток». Вырезы и выступы берем по всей ширине обоймы и кольца, они не нарушают продольную симметрию конструкции.

Кольцо и обойма могут свободно деформироваться в осевом направлении и не смещаются относительно друг друга.

Для построения конечно-элементной модели конструкции представим конструкцию как двухслойную цилиндрическую оболочку, состоящую из наружной толстостенной жесткой обоймы и внутреннего тонкостенного кольца. Моделируем это составное трехмерное тело кольцо — обойма с помощью восьмиузловых объемных конечных элементов типа SOLID с полным интегрированием по объему (по Гауссу) по восьми точкам, каждый узел обладает тремя степенями свободы. В конечно-элементной модели конструкции используется порядка 156 тыс. узлов и 135 тыс. элементов.

Несколько слоев конечных элементов берем по толщине кольца и обоймы так, чтобы в контактирующих слоях были размещены технологические отклонения. На поверхности сопряжения кольцо — обойма выбираем контакт с

односторонней связью `AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE`. При этой связи запрещены радиальные перемещения кольца в сторону обоймы и разрешены в обратную сторону. Касательные связи между кольцом и обоймой отсутствуют.

С учетом симметрии конструкции кольцо — обойма относительно вертикальной плоскости рассматриваем только половину этой конструкции (рис. 2). На поперечных сечениях конструкции в таком случае будут выполняться геометрические граничные условия в перемещениях $u_x = 0$, задаваемые на соответствующие узлы.

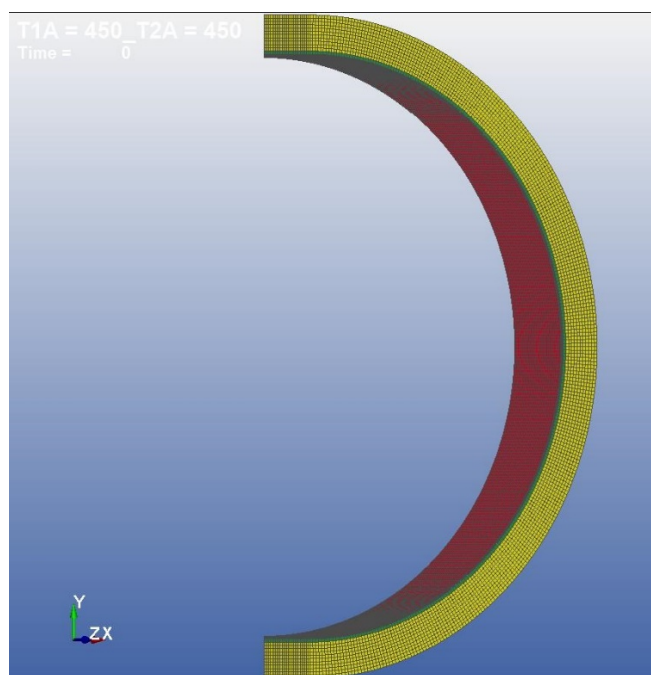


Рис. 2. Конечно-элементная модель конструкции кольцо — обойма

Для того чтобы кольцо и обойма могли свободно деформироваться в осевом направлении без смещения как жесткого целого, принимаем на правом торце (см. рис. 1) нулевые перемещения ($u_z = 0$). Перемещения конструкции как жесткого целого по оси y исключаем, обнуляя только вертикальное перемещение ($u_y = 0$) нижнего узла обоймы.

Стальные кольцо и обойму моделируем упругопластическим материалом `PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY`.

Исследование напряженно-деформированного состояния конструкции кольцо — обойма проводим в виде равномерного по всему объему нагрева кольца, которое теплоизолировано от обоймы. Механические характеристики кольца не зависят от температуры нагрева. Температурное нагружение кольца осуществляем по кусочно-линейному закону, через который (через параметр «время») устанавливается однозначная связь температуры кольца ($T, ^\circ\text{C}$) и напряженно-деформированного состояния всей конструкции. Время температурного нагружения выбираем таким, чтобы нагружение считалось продолжительным. Расчеты по разработанной конечно-элементной модели конструкции кольцо — обойма проведены в программном комплексе LS-DYNA.

Для сравнения конструкций по формам прогибов кольца при разных условиях — в отсутствие и при наличии технологических отклонений в конструкции проведем два варианта расчета. В первом случае возьмем идеальное кольцо и идеальную обойму без геометрических технологических отклонений. Во втором случае в обойме выполнен вырез глубиной 0,5 мм и длиной 10 мм; в кольце есть вырез глубиной 0,1 мм и длиной 18 мм (увеличенное технологическое отклонение). Результаты расчетов представим визуально — в виде изображения.

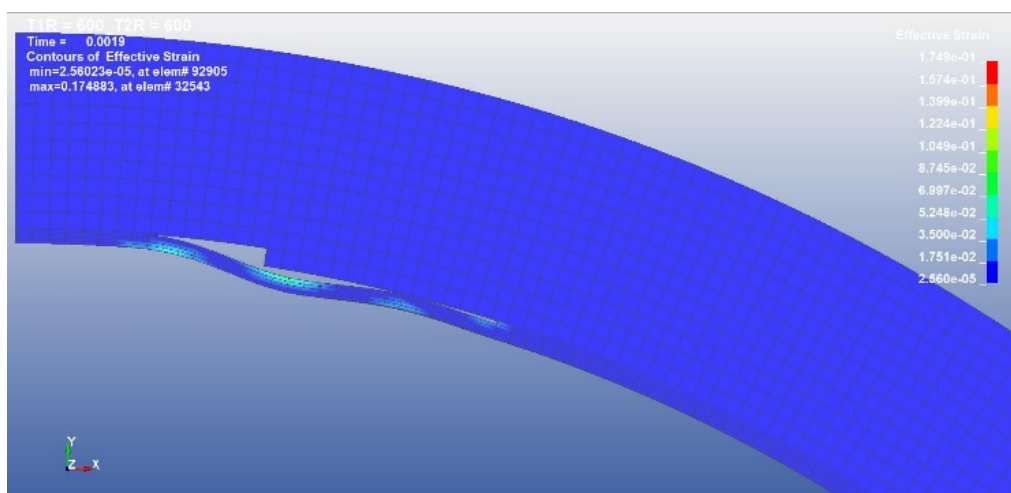
При расчете идеальной конструкции кольцо — обойма, т.е. в отсутствие каких-либо технологических отклонений, в случае нагрева кольцо сохраняло идеальную форму, увеличивалась лишь его толщина. В кольце возникало однородное напряженное состояние, следовательно, изгиб отсутствовал. Это означает, что нагретое идеальное кольцо, стесненное идеальной обоймой, не теряет устойчивость.

Нагрев конструкции с увеличенными технологическими отклонениями привел сначала к появлению «двойного» прогиба (рис. 3, а) с четырьмя радиусами кривизны. С повышением температуры зародился «лепесток» с

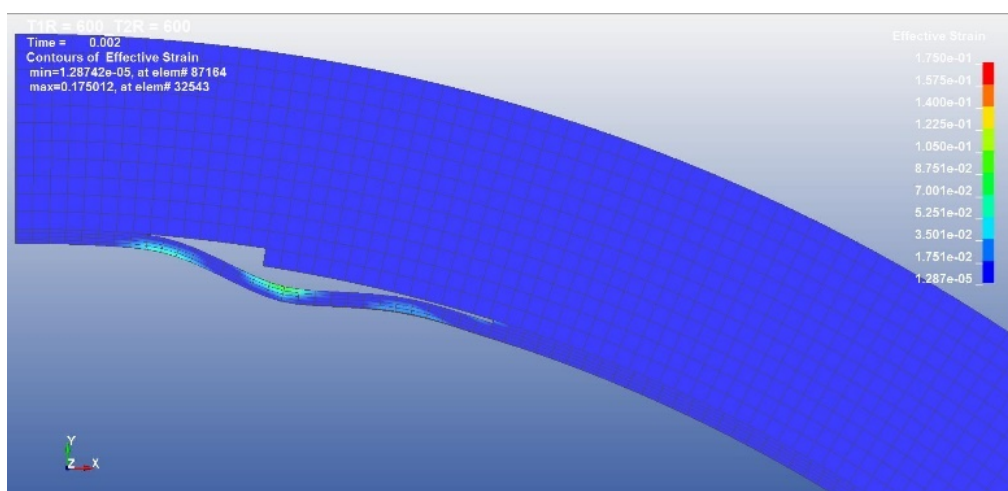
тремя радиусами кривизны (рис. 3, б), что свидетельствовало о начале потери устойчивости кольца. Далее при температуре $T = 600^\circ\text{C}$ амплитуда и кривизна «лепестка» увеличивались (рис. 3, в), отмечалось заметное отслаивание кольца от обоймы.

Исследования показали, что при других геометрических значениях технологических отклонений в конструкции при нагреве кольца может сразу формироваться «лепесток», который с повышением температуры увеличивается. Отмечается более заостренная форма «лепестка», меньшая длина отслоения по сравнению с представленным на рис. 3 вариантом.

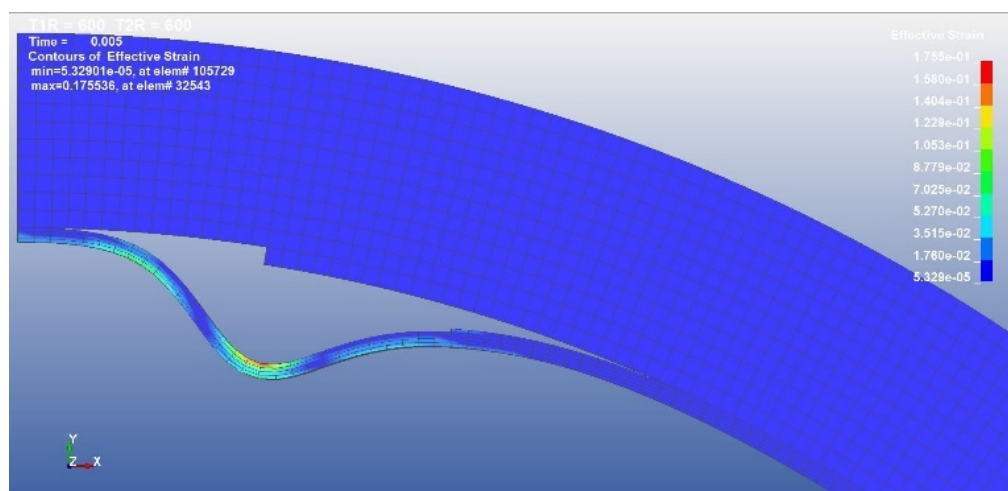
Установлено, что после расслоения конструкции напряжения и деформации в кольце падают, свидетельствуя тем самым о локальной потере устойчивости кольца. Этот факт подтверждается и визуальной картиной деформирования кольца, и графиками деформаций и напряжений.



a



б



в

Рис. 3. Поля деформаций в конструкции
с увеличенными технологическими отклонениями

Согласно данным, полученным в расчетах при нагреве стального кольца до $T = 204\text{ }^{\circ}\text{C}$, кольцо, стесненное жесткой облоймой, деформируется в трех направлениях: в радиальном направлении происходит наибольшее деформирование; в окружном направлении деформации в 5 раз меньше, чем в радиальном; в продольном (осевом) направлении отмечаются наименьшие деформации. Такое же соотношение между деформациями сохраняется и в случае нагрева стального кольца до температуры выше $204\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Эксперимент с нагревом стального кольца (наружный диаметр 88 мм, толщина 0,5 мм), обмотанного лентой углепластика, приведен в работе В.В. Васильева [4]. Была выбрана такая схема армирования углепластика, что окружной коэффициент линейного температурного расширения равнялся нулю. Конструкцию нагревали в печи, измеряли температуру потери устойчивости кольца. В эксперименте была получена температура $T = 197^{\circ}\text{C}$.

Погрешности δ расчетных температур (15,7 % и 3,6 %) относительно экспериментально полученной температуры свидетельствуют о хорошем согласовании расчетов и эксперимента, а также о допустимости введения технологических отклонений по методологии ввиду небольшого разброса расчетных значений температур, полученных на основе визуального анализа изображений (качественная оценка), при введении разных размеров технологических отклонений.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Численный анализ, выполненный в программном комплексе LS-DYNA, позволил провести динамические расчеты модели двухслойной конструкций кольцо — обойма с геометрическими и физическими нелинейностями, а также проследить появление локальной потери устойчивости кольца и время, за которое она происходит. Сравнением с экспериментом подтверждена достоверность построенной в рамках методологии динамического анализа конечно-элементной модели трехмерной составной конструкции кольцо — обойма.

Введение в идеальную конструкцию технологических отклонений допустимо в связи с малым разбросом получаемых критических нагрузок для разных размеров технологических отклонений, остающихся в пределах заданных допусков.

Библиографический список

1. Григолюк, Э.И., Кабанов, В.В. Устойчивость оболочек. – Москва, Наука, 1978. – 360 с.
2. Egorov, A.V., Egorov, V.N. Analysis of delamination in metal composite pressure vessels // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2171. – Art. 170024. DOI: 10.1063/1.5133335
3. Егоров, А.В. Устойчивость цилиндрических оболочек в жесткой среде // Инженерный журнал: наука и инновации. 2017. Вып. 9. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-9-1670>
4. Васильев, В.В., Мороз, Н.Г. Композитные баллоны давления. Проектирование, расчет, изготовление и испытания: справ. пособие. – Москва: Машиностроение; Инновационное машиностроение, 2015. – 373 с.

УДК 621.981

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ
БОКОВЫХ ДОРОЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ НА УДЕРЖИВАЮЩУЮ
СПОСОБНОСТЬ ПРИ НАЕЗДЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ****Илюшкин М.В.¹, Марковцев В.А.², Халилов Ф.Х.³, Баранов А.С.⁴***1 – к.т.н., зам. генерального директора по науке АО «Ульяновский НИАТ»**2 – д.т.н., генеральный директор АО «Ульяновский НИАТ»**3 – нач. НИС-132 АО «Ульяновский НИАТ»**3 – зам. генерального директора по производству АО «Ульяновский НИАТ»*

Аннотация. В статье описывается опыт производства деталей дорожного ограждения «Балка» и «Стойка». Определена сопротивляемость ограждения к удару, т.е. проведена оценка его на удерживающую способность путем моделирования в программе LS-DYNA.

Ключевые слова: дорожное ограждение, гнутые профили, формообразование профиля, динамический анализ, конечноэлементное моделирование, LS-DYNA.

**INFLUENCE OF THE MANUFACTURING TECHNOLOGY OF THE
ELEMENTS OF SIDE ROAD BARRIERS ON THE HOLDING CAPACITY
WHEN HITTING VEHICLES****Ilyushkin M. V.¹, Markovtsev V. A.², Khalilov F. Kh.³, Baranov A. S.⁴***1 – Candidate of Technical Sciences, Deputy General Director for Science of JSC "Ulyanovsk NIAT"**2 – Doctor of Technical Sciences, General Director of JSC "Ulyanovsk NIAT"**3 – Head of NIS-132 JSC "Ulyanovsk NIAT"**4 – Deputy General Director for Production of JSC "Ulyanovsk NIAT"*

Abstract. The article describes the experience of manufacturing road fence parts "Beam" and "Rack". The impact resistance of the barrier was determined, i.e., its holding capacity was evaluated by modeling in the LS-DYNA program.

Keywords: road fencing, bent profiles, profile shaping, dynamic analysis, finite element modeling, LS-DYNA.

В последнее время для ограждения автомобильных дорог широкое распространение получили боковые дорожные ограждения, состоящие их металлических профилей различного поперечного сечения. Одна из стандартных конструкция такого бокового дорожное ограждение представлена на рис. 1 и состоит из следующих частей: балка 1, консоль-амортизатор 2, стойка 3.

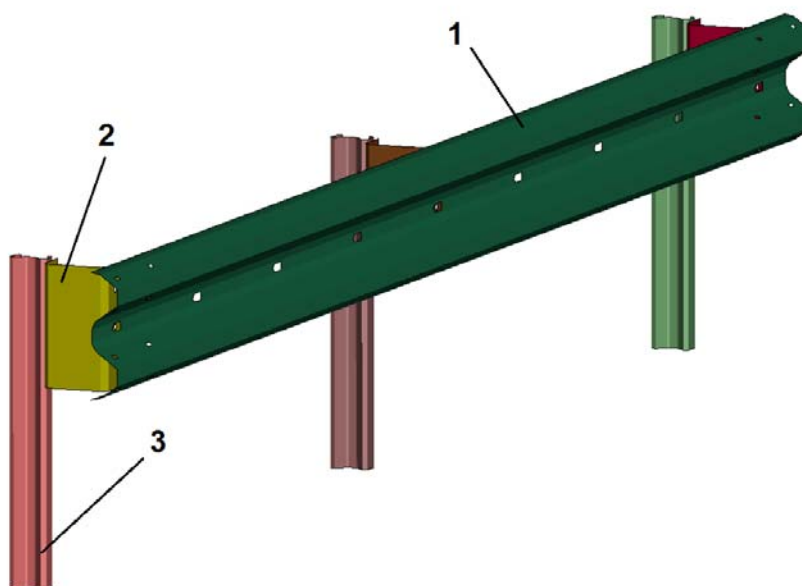


Рис. 1. Элемент металлического бокового ограждения: 1 – балка, 2 – консоль-амортизатор, 3 – стойка

Чертежи сечения деталей «Балка» и «Стойка» представлены на рис. 2, детали консоль-амортизатор (КА) на рис. 3.

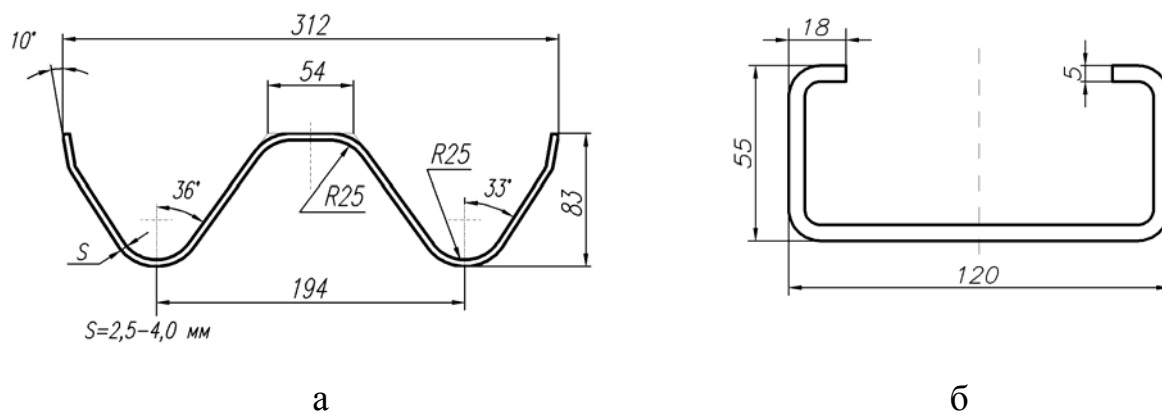


Рис. 2. Сечение детали «Балка» (а) и «Стойка» (б)

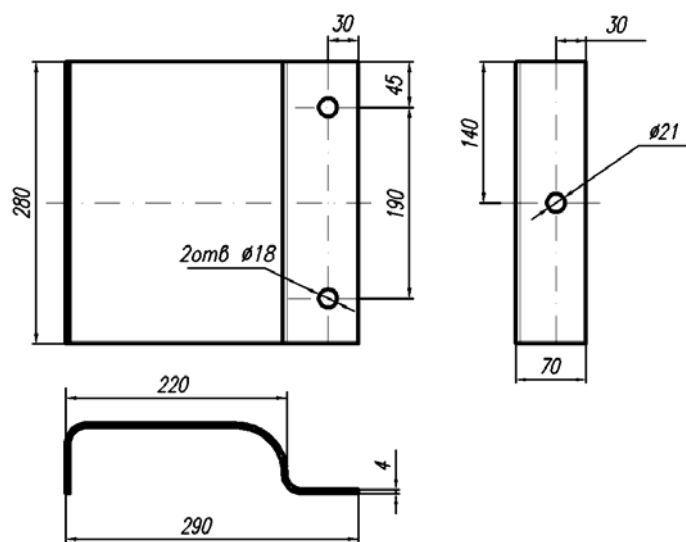


Рис. 3. Деталь “Консоль-Амортизатор”

Детали дорожного ограждения балка и стойка обычно изготавливаются методом гибки листовой заготовки в профилегибочных станах. Подробнее о технологии изготовления профиля “балка” можно ознакомиться в нашей ранней работе [1].

На рис. 4 представлена линия для изготовления детали “балка”. Куда входит 16-и переходный станок ГПС500-М16 (поз. 7) производства АО “Ульяновский НИАТ”, три кривошипных прессы (поз. 5, 8, 10) и несколько дополнительных устройств, таких как разматыватель рулона (поз. 1), пост сварки (поз. 4), стол приемный (поз. 12) и др.

На станок ГПС500-М16 устанавливается роликовая оснастка и происходит формования профиля балка из исходной листовой заготовки. Штампы, устанавливаемые на кривошипные прессы (поз. 6, 9, 11) предназначены для пробивки отверстий и отрезки детали нужной длины.

Детали типа “стойка” тоже могут изготавливаться на этой линии. В этом случае вместо 3 используются только 2 прессы и количество задействованных переходов на гибочно-прокатном стане уменьшается до 8-12.

Кроме сечения стойки С-образного вида (см. рис. 2а) могут применяться и другие сечения: швеллерного вида или сигма (М-образного вида). Эти типы гнутых профилей также могут изготавливаться на данной линии.

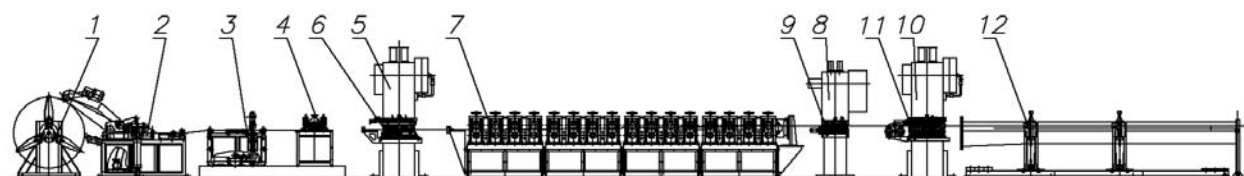


Рис. 4. Линия изготовления детали «Балка» и «Стойка» для дорожного ограждения: 1 - разматыватель рулона, 2 - отгибатель края рулона, 3 - ножницы гильотинные, 4 - пост сварочный, 5 - пресс кривошипный, 6 - штамп перфорирующий, 7 - гибочно-прокатный станок, 8, 10 - пресс кривошипный, 9 - штамп перфорирующий, 11 - штамп отрезной, 12 - стол приемный

Детали типа «Консоль КА» также могут изготавливаться на представленной выше линии. Но для их изготовления, как правило, применяются линии автоматизированной штамповки (рис. 5). Что связано с меньшим составом оборудования такой линии, более простой конструкцией отрубного штампа. Кроме того, данная линия применяется и для изготовления детали «Световозвращатель», которую нецелесообразно делать в профилегибочных станах.

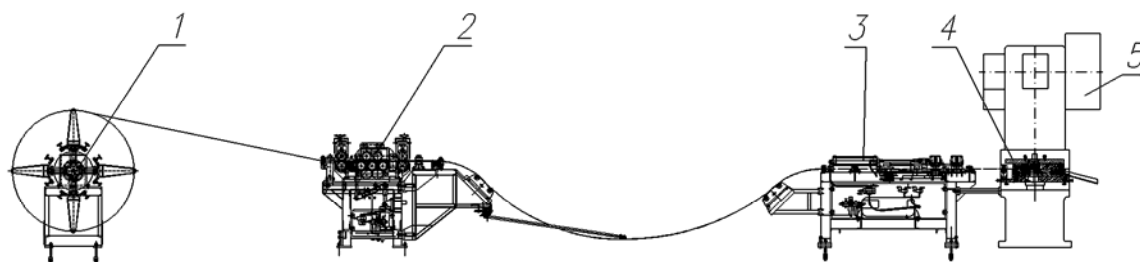


Рис. 5. Линия штамповки детали “Консоль”: 1 – разматыватель рулона, 2 – машина листопрямляющая, 3 – устройство шаговой подачи, 4 – штамп комбинированный, 5 – пресс кривошипный

В последнее время широкое распространение получили программы компьютерного моделирования различных физических явлений, которые могут с большой точностью смоделировать требуемые технологические процессы. На АО “Ульяновский НИАТ” для таких целей служит программа динамического моделирования LS-DYNA. В данной программе могут быть промоделированы все разрабатываемые технологические процессы изготовления профиля, с получением данных по дефектам, напряженно-деформированному состоянию, энергосиловым параметрам и т.п.

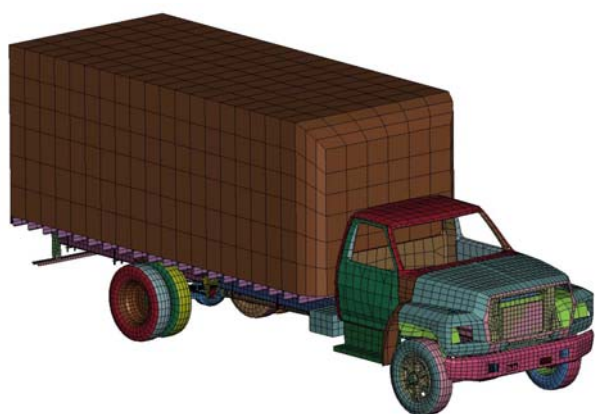
Моделирование формообразования профиля на стадии проектирования позволяет испытать, т.е. провести виртуальный эксперимент различных схем формообразования и перебрать различные варианты таких схем с выбором наилучшей из них, к примеру, за минимальное количество технологических переходов. Например, уменьшить количество используемых переходов для формообразования профиля “балка” с 16 до 10-12, уменьшить металлоемкость существующих формующих роликов путем уменьшения незадействованных в формовке частей роликов и т.п. Все это приводит к уменьшению стоимости такой линии и к повышению конкурентоспособности предприятия использующего такие программы у себя в конструкторско-технологическом отделе.

В тоже время программы компьютерного моделирования можно использовать и в других целях, например, для повышения стойкости конструкций дорожных ограждений к удару или сокращению металлоемкости дорожного ограждения при сохранении требуемой удерживающей способности. Это можно сделать путем перераспределения металла в зоны профиля влияющие на его удерживающую способность, например утолщения зон сгиба. Проанализировать такие схемы и подобрать наиболее оптимальные помогает моделирование данного процесса.

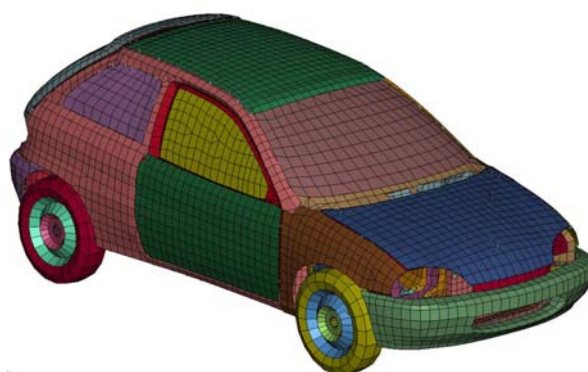
Разработанные на АО «Ульяновский НИАТ» новые методы деформирования (метод стесненного изгиба, метод интенсивного деформирования, метод направленной потери устойчивости) позволяет делать профили с требуемыми параметрами по его сечению. Например, утолщать металл в нужных зонах по сечению профиля, что улучшит сопротивляемость детали к удару.

Определить сопротивляемость ограждения к удару, т.е. оценить его на удерживающую способность также позволяет моделирование в программе LS-DYNA.

Для этих целей применяют конечно-элементные модели транспортных средств (ТС) грузового автомобиля (рис. 6а), легкового автомобиля (рис. 6б) или автобуса (рис. 7).



а



б

Рис. 6. Конечно-элементные модели ТС: а – грузового автомобиля, б – легкового автомобиля

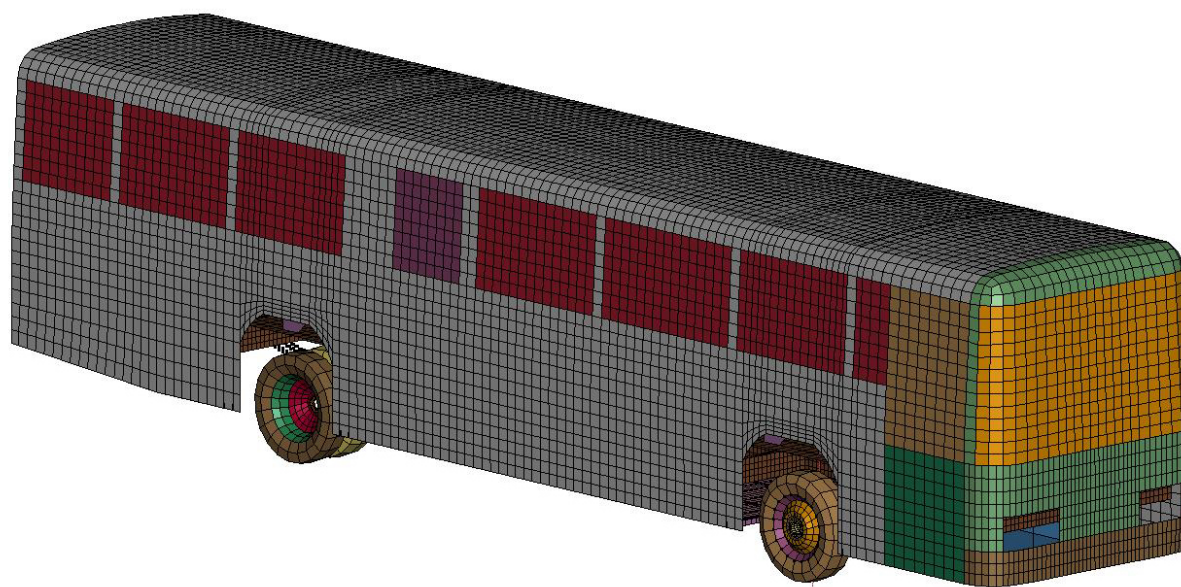


Рис. 7. Конечно-элементная модель автобуса

Основные требования к дорожным ограждения приведены в источниках [2, 3]. В источнике [4] приведены уровни удерживающей способности в зависимости от массы ТС и скорости наезда.

Для определения удерживающей способности спроектированного дорожного ограждения проводят натурные испытания [5]. Но значительная стоимость таких испытания не позволяют в должной мере оценить нужные параметры при корректировке различных элементов ограждений, изменение толщины материала, шага стоек и т.п.

Значительно снизить стоимость испытаний дорожных ограждений позволяет проведение виртуального эксперимента, который может быть осуществлен в одной из программ динамического анализа, например, в LS-DYNA. Некоторые настроечные параметры моделирования можно найти в источнике [6].

В АО «Ульяновский НИАТ» кроме моделирования основного процесса формообразования также приобретен опыт в моделировании процессов удара (наезда) транспортных средств об дорожное ограждение (рис. 8).

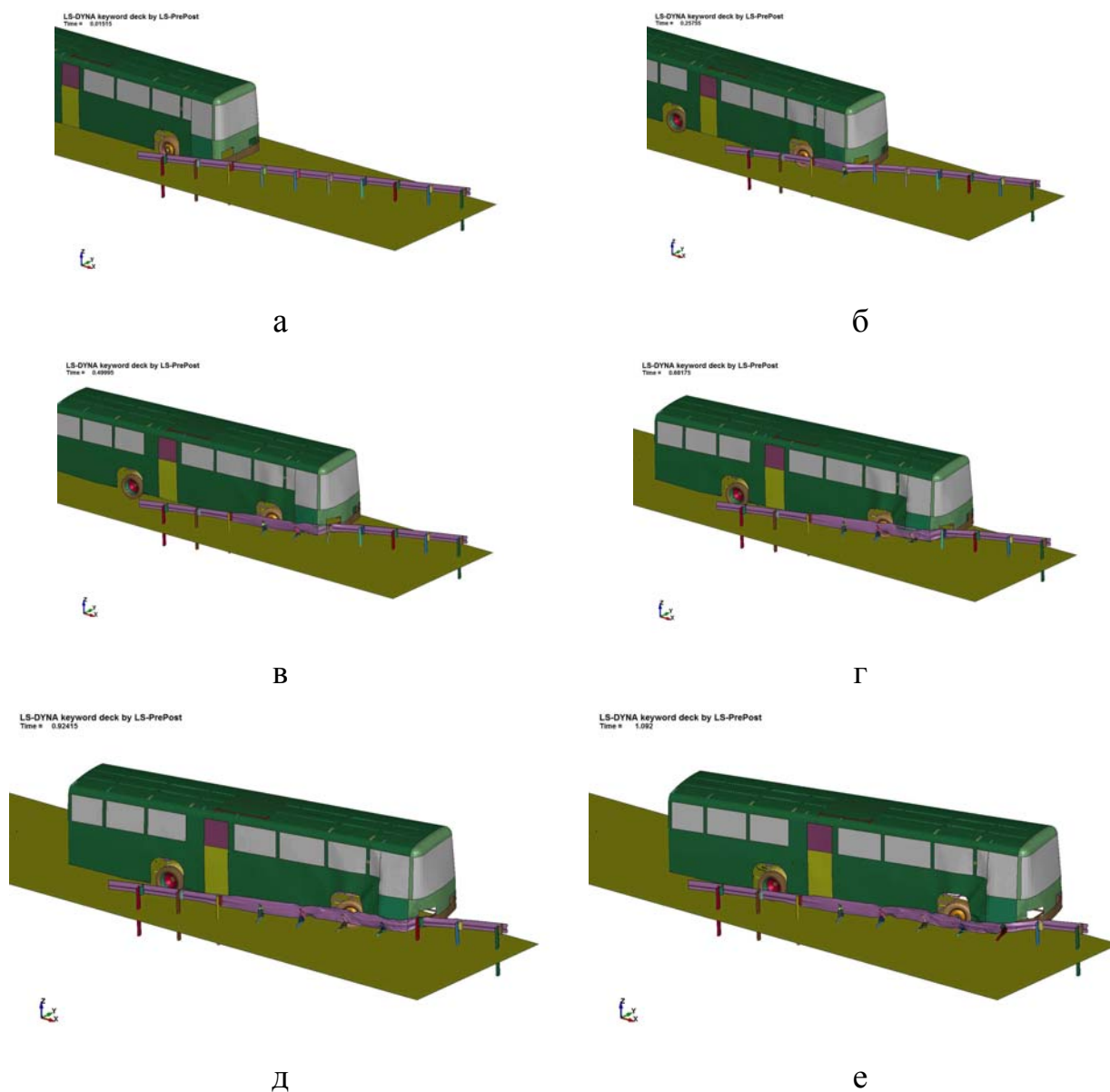


Рис. 8. Наезд автобуса на ограждение в зависимости от времени: а – 0,015 сек, б – 0,25 сек, в – 0,5 сек, г – 0,68 сек, д – 0,92 сек, е – 1,09 сек

Виртуальный эксперимент позволяет смоделировать различные варианты конструкций ограждений, что позволяет корректировать такую

конструкцию еще на стадии проектирования. Моделирование позволяет определить такие важные параметры как уровень удерживающей способности, динамический прогиб, рабочая ширина ограждения.

Для повышения точности моделирования важно использовать историю деформирования элементов ограждения. Балка или стойка ограждения уже подвергнута деформации в процессе своего изготовления. Поэтому в модель удара транспортного средства должны использоваться элементы ограждения с сохраненными данными после их изготовления.

В качестве таких данных выступают остаточные напряжения, которые могут как понижать, так и повышать удерживающую способность ограждения, деформации деталей, которые могут отличаться от чертежных размеров. Утонение материала обычно происходящей при гибке приведет к снижению удерживающей способности такого ограждения. Но особые виды деформация, например, деформации по методам стесненного изгиба может наоборот привести к увеличению удерживающей способности за счет увеличения толщин в нужных зонах профилей. Все это позволяет в зависимости от требований нормативной документации еще на стадии изготовления закладывать требуемые параметры в исходные элементы дорожного ограждения, что, в конечном счете, приведет к снижению металлоемкости и стоимости таких ограждений. Таким образом, история нагружения может играть важную роль, а моделирование (виртуальный эксперимент) позволяет учесть это (рис. 9, 10).

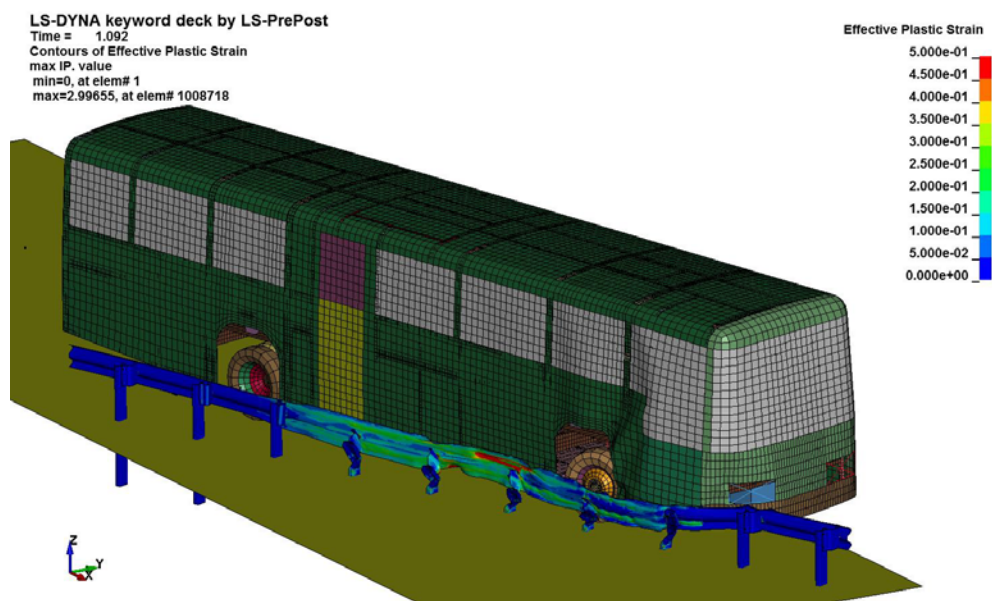


Рис. 9. Пластические деформации элементов дорожного ограждения при наезде автобуса при сохранении истории деформирования на этапах изготовления деталей ограждения

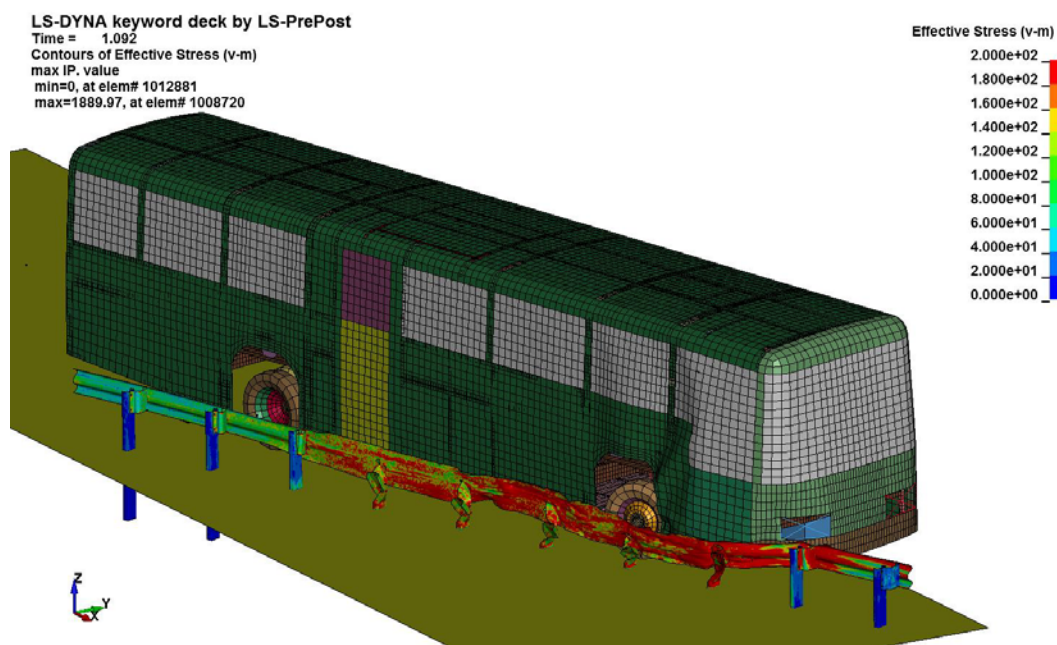


Рис. 10. Напряжения Effective stress von mises элементов дорожного ограждения при наезде автобуса при сохранении истории деформирования (остаточных напряжений) на этапах изготовления деталей ограждения

Повысить качество моделирования позволяет учет точных параметров моделей материала ограждения, грунта или бетона, а также болтовых соединений. При наличии разрушения повысить точность позволяет использование сложных моделей учитывающих это разрушение, например моделей Gissmo, которые позволяют учесть разрушение в зависимости от напряженного состояния. Это может быть важно, например, для болтовых соединений подверженных разрушению и которые применяются как в транспортном средстве, так и ограждений. Моделирование болтовых соединения с разрушениями Gissmo представлено в работе [7].

Таким образом, технология изготовления элементов дорожных ограждений влияет на удерживающую способность таких ограждений, а использование истории нагружения при моделировании позволяет учесть эту информацию при моделировании удара транспортного средства, таким образом повысить точность расчета, а использование особых схем формообразования позволяет уменьшить металлоемкость ограждений при сохранении его удерживающей способности.

Библиографический список

1. Баранов А.С., Илюшкин М.В., Марковцев В.А. Исследование технологии изготовления гнутого профиля “Дородный отбоник” и оценка удерживающей способности ограждения при наезде транспортного средства // Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России. Материалы V Международной научно-производственной конференции, приуроченная ко Дню Российской науки (г. Ульяновск, 6-7 февраля 2020 г.): сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2020. – с. 7-15.

2. ГОСТ 33127-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Ограждения дорожные. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2015. – 5 с.
3. ГОСТ 33128-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Ограждения дорожные. Технические требования. – М.: Стандартинформ, 2015. – 11 с.
4. ГОСТ 31994-2013 Технические средства организации дорожного движения. Ограждения дорожные удерживающие боковые для автомобилей. Общие технические требования. – М.: Стандартинформ, 2013. – 16 с.
5. ГОСТ 31970-2012 Технические средства организации дорожного движения. Методы испытаний дорожных ограждений. – М.: Стандартинформ, 2014. – 18 с.
6. ОДМ 218.6.016-2015 Рекомендации по применению компьютерного моделирования для анализа тросовых ограждений методом конечных элементов (МКЭ)/Росавтодор. – М., 2016. – 52 с.
7. Моделирование болтов при помощи модели GISSMO в анализе столкновений. Флориан Шауверкер, Давид Монкайо, Филиппе Андраде, Маркус Фойхт, Markus Beck, Piter Middendorf. 12 Европейская конференция по ls-dyna, 2019, Кобленц, Германия.

УДК 621.076

**МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ МЕТАЛЛА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ
ПРОЦЕССА ХОЛОДНОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ,
КАК КАТАЛИЗАТОР ИЗМЕНЕНИЯ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ КЛР**

Кокорин В.Н.¹, Мишов Н.В.², Шиллер Н.П.³, Корчакин А.С.⁴

1 – заведующий кафедрой “Материаловедения и ОМД” УлГТУ, д.т.н., профессор г. Ульяновск.

2 – магистрант УлГТУ, г. Ульяновск.

3 – магистрант УлГТУ, г. Ульяновск.

4 – бакалавр 2 года каф. “Материаловедения и ОМД” УлГТУ, г. Ульяновск.

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

Ключевые слова: деформационное упрочнение, моделирование, напряжение, механическая активация, теплопроводность.

**MECHANICAL ACTIVATION OF METAL IN THE PROCESS OF COLD
DEFORMATION HARDENING, AS A CATALYST FOR CHANGES IN
THERMAL CONDUCTIVITY IN CLR**

Kokorin V. N.¹, Mishov N. V.², Shiller N. P.³, Korchakhin A. S.⁴

1 – Head of the Department of Materials Science and OMD, UlSTU, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ulyanovsk.

2 – Master's student of UlSTU, Ulyanovsk.

3 – Master's student of UlSTU, Ulyanovsk.

4 – bachelor 2 years of kaf. "Materials Science and OMD" UlSTU, Ulyanovsk.

Abstract. The problems of modeling rolling processes in the event of deformation hardening of sheet metal are considered. The main characteristics of the stress-strain state of the metal, which determine both the features of the forming process and the energy-power characteristics, are established. The correlation between the level of VAT and thermal conductivity is established.

Keywords: strain hardening, modeling, stress, mechanical activation, thermal conductivity.

При изучении процессов механической активации металлов и сплавов, сотрудниками Ульяновского государственного технического университета была представлена реализация новой технологии контурной лазерной резки листового металлопроката с предварительной его активацией, заключающейся в холодном деформационном упрочнении обрабатываемого металла.

Для повышения качества лазерной резки рекомендуется уменьшать тепловое воздействие на металл заготовки с целью уменьшения теплопроводности. В результате пластической деформации увеличивается плотность дефектов кристаллической решетки (дислокаций, точечных дефектов, двойниковых границ и т.д.). При этом 10% энергии, затрачиваемой на пластическую деформацию, может аккумулироваться в металле в виде таких дефектов, а остальная энергия выделяется в виде тепла. Это явление, определяемое как механическая активация, обуславливает деформационное упрочнение металла и может быть использовано для изменения физических свойств металлических материалов в требуемом направлении [1-3].

Установлена корреляционная связь между уровнем деформационного холодного упрочнения, напряженно-деформированного состояния (НДС) и теплопроводностью, как фактора, влияющего на эффективность контурной лазерной резки (КЛР).

Произведен расчет НДС в очаге деформации при различных степенях осевого нагружения при использовании клиновидных ребер прямоугольной и конической формы.

При моделировании НДС использовалась программа LS-DYNA с использованием нелинейного переходного динамического конечно-элементного кода с явным и неявным решателем.

На рисунке 1 представлен анализ напряженно деформированного состояния при локализованном напряжении с различными степенями деформации.

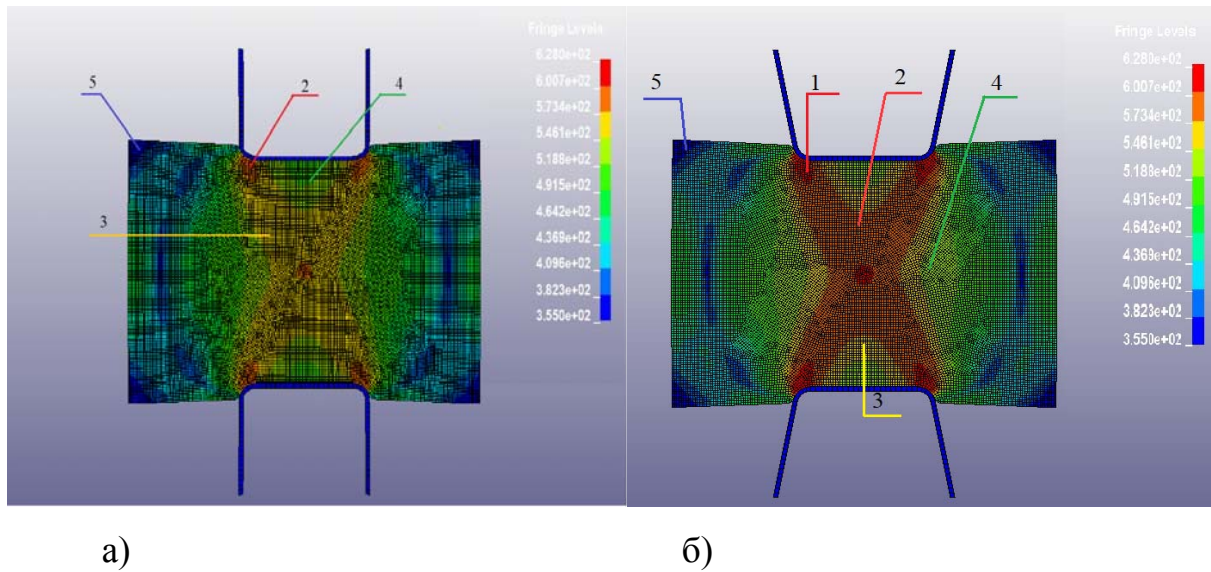


Рис. 1. Напряженно-деформированное состояние материала заготовки при локализованном нагружении, степень деформации 25%:

а) вдавливание прямоугольного клиновидного ребра; б) вдавливание конического клиновидного ребра

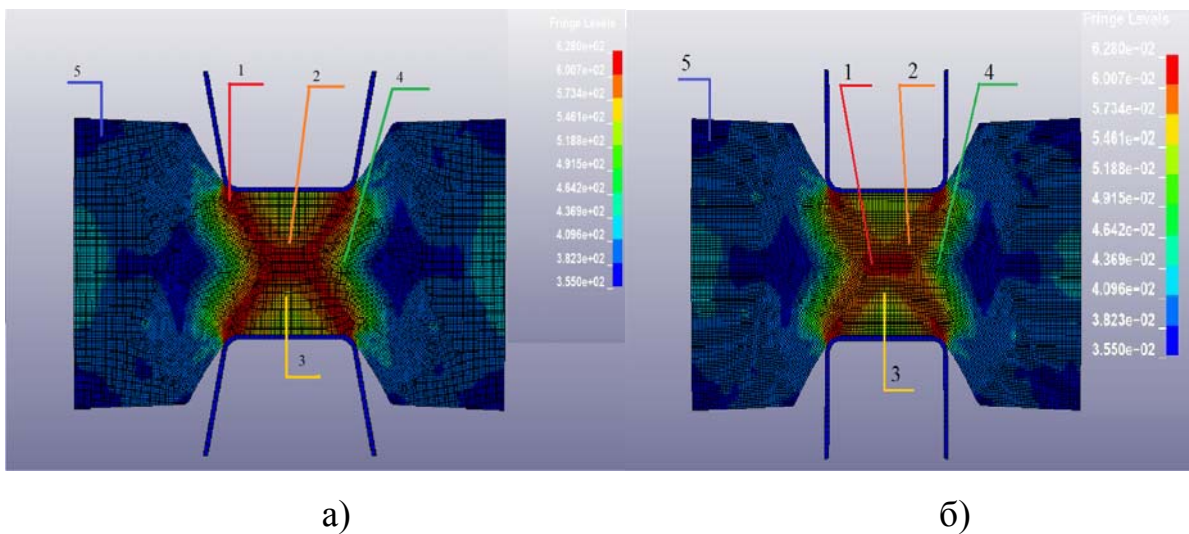


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние материала заготовки при локализованном нагружении, степень деформации 25%:

а) вдавливание прямоугольного клиновидного ребра; б) вдавливание конического клиновидного ребра

Для оценки эффективности формы деформирующего инструмента (конической и цилиндрической) было предложено использовать условный коэффициент силового воздействия ($K_{\text{усл}} = F_i / F_0$), определяемый как отношение площадей равного уровня напряжений (F_i) к площади (F_0), замыкающей границы деформационного воздействия (рис. 3) при фиксированных степенях деформации.

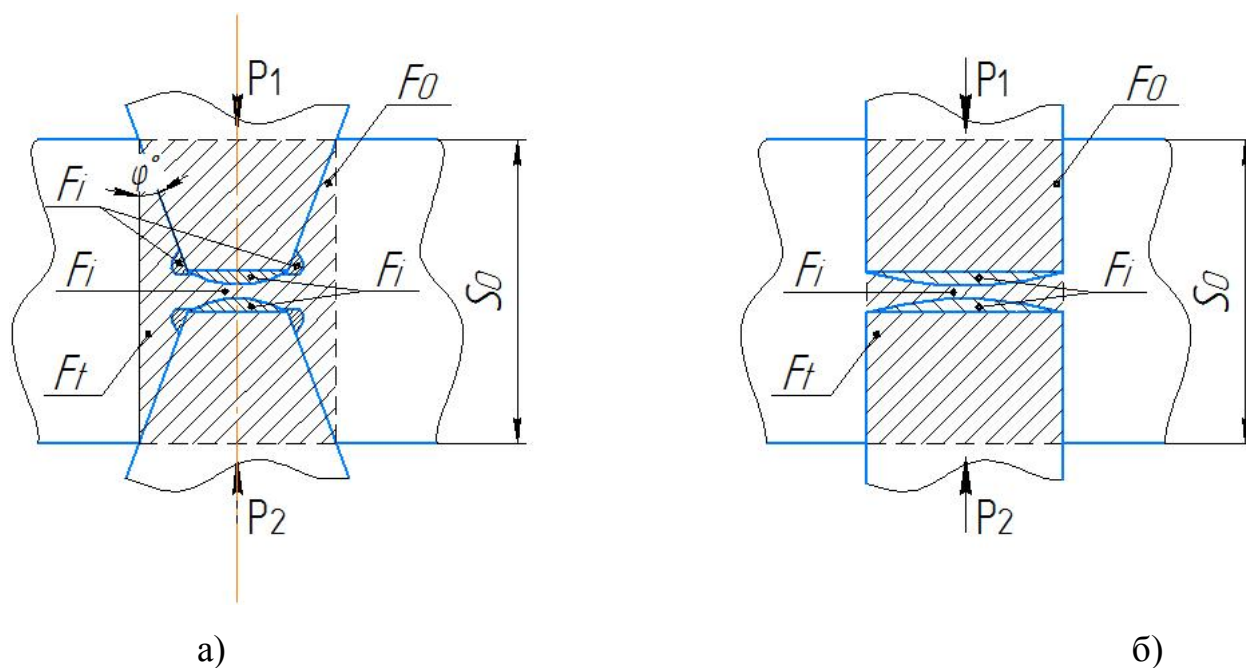


Рис. 3. К определению условного коэффициента силового воздействия при локализованном нагружении:

а) клиновидные ребра конической формы ($\varphi > 0$) б) прямоугольные ребра ($\varphi = 0$)

Произведен расчет площадей напряжений равного уровня и площадей, замыкающих границ деформационного воздействия также, условных коэффициентов силового воздействия соответственно при степенях деформации 25% и 50%.

На рисунке 4 представлена сопоставительная оценка площадей равного уровня напряжений при использовании прямоугольных и конических клиновидных ребер

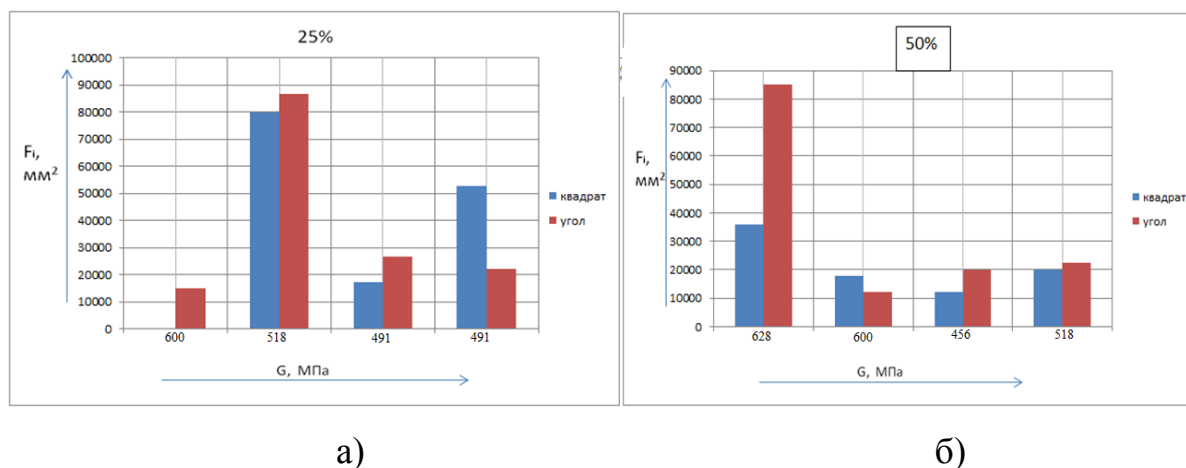


Рис. 4. Сопоставительная оценка площадей равного уровня напряжений при использовании прямоугольных (а) и конических (б) клиновидных ребер

Рассчитана интегральная площадь зон максимального упрочнения при степени деформации 25% зона напряжений уровня 600 МПа составляет 0 % (прямоугольный клин) и 10% (конический клин); зона напряжений до 546 МПа соответственно 11,4% и 67,6%.

При степени деформации 50% зона напряжений уровня 628 МПа составляет 13,6 % (прямоугольный клин) и 41,3% (конический клин); зона напряжений до 600 МПа соответственно 45,6% и 62,2 %; зона напряжений до 546 МПа соответственно 64,8% и 77 %. Таким образом, установлено влияния формы клиновидного ребра на величину площади максимального упрочнения металла заготовки.

Выявлено в очаге деформации пять характерных зон напряжения, в которых величины отличаются не менее, чем на 25 МПа. При этом, применение клиновидной формы деформирующего инструмента позволит повысить уровень локализации участка силового воздействия на 20% (25% деформации), 40% (50% деформации).

Таким образом установлена возможность варьирования формой деформирующего инструмента, степенью деформационного воздействия, изменять уровень механической активации в локальных участках очага

деформации, что в свою очередь позволяет дифференцировать уровень теплопроводности металла в зоне реза, соответственно управлять качеством поверхности разделения и геометрией вырезаемой детали.

Библиографический список

1. В.Н. Кокорин, М.В.Илюшкин, Д.Р. Подмарев, Н.В. Мишов, Н.П. Шиллер, Л.Р. Курамшина. Моделирование процесса деформационного упрочнения листового металлопроката Научные труды VI Международной научной конференции “Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении”. – М.: ИМАШРАН. – 2019. – С. 213-214
2. Илюшкин М.В. Моделирование процессов обработки металлов давлением: учебно-методическое пособие / М.В. Илюшкин. – Ульяновск: УлГУ, 2013. – 112 с.
3. В.Н. Кокорин, Д.Р. Подмарев, Н.В. Мишов, Н.П. Шиллер Исследование процесса контурной лазерной резки листового металлопроката при использовании предварительной холодной прокатки Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XXI Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 2 / под ред. Е.В. Протопопова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – 463 с. : ил. С. 191-196
4. Кокорин В.Н., Шанченко Н.И., Мищенко О.В., Кокорин М.В., Левушкин К.С. Моделирование процесса контурной лазерной резки с механической активацией листового металлопроката // Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. № 11 (131). С. 43-48.

УДК621.983.044

ПРОЦЕСС И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ФОРМОВКИ-ВЫРУБКИ ПОЛИУРЕТАНОМ МЕМБРАН ИЗ ФОЛЬГИ**Мамутов В.С.¹, Арсентьева К.С.², Курятников А.А.³***1 – д.т.н., проф. Высшей Школы «Машиностроения», СПбПУ, г. С.-Петербург,**2 – к.т.н., ст. препод. Высшей Школы «Машиностроения», СПбПУ, г. С.-Петербург,**3 – асп. Высшей Школы «Машиностроения», СПбПУ, г. С.-Петербург*

Аннотация. Дано описание процесса магнитно-эластоимпульсной штамповки точных мембран из стали 12X18H10T толщиной 0.05 мм. Представлен подход к компьютерному моделированию процесса импульсной формовки-вырубки, позволяющий определить параметры вкладыша матрицы. Рассмотрены особенности разделения заготовки в условиях формовки-вырубки.

Ключевые слова: магнитно-эластоимпульсная штамповка, точные мембраны из фольги, процесс формовки-вырубки, компьютерное моделирование.

PROCESS AND COMPUTER SIMULATION OF IMPULSE FORMING-CUTTING OF MEMBRANES FROM FOIL USING POLYURETHANE**Mamutov V.S.¹, Arsenyeva X.S.², Kuryatnikov A.A.³***1 – D.S., professor, High School "Mechanical Engineering", SPbPU, St. Petersburg,**2 – PhD, senior lecturer, High School "Mechanical Engineering", SPbPU, St. Petersburg,**3 – Postgraduate student, High School "Mechanical Engineering", SPbPU, St. Petersburg.*

Abstract. A description of the process of magnetic-elastic-pulse stamping of precise membranes made of 12X18H10T steel with a thickness of 0.05 mm is given. An approach to computer simulation of the impulse forming-cutting process was presented, which allows determining the parameters of the matrix insert. The features of the billet separation in the conditions of forming-cutting are considered.

Keywords: magnetic-elastic-pulse stamping, precise foil membranes, forming-cutting process, computer simulation.

Штамповка точных мембран из особо тонкого листа и фольги толщиной менее 0.05...0.1 мм представляет собой сложную техническую задачу. Возникают проблемы точности из-за пружинения заготовки при формовке и образования заусенцев при вырубке наружного контура. Поэтому часто отказываются от методов традиционной штамповки и применяют более дорогостоящие методы, такие как вакуумное напыление. Механические характеристики изделий при этом хуже, чем при штамповке.

Одним из способов устранения недостатков штамповки является применение импульсного нагружения, например, комбинирование магнитно-импульсного нагружения на подвижный промежуточный металлический

элемент и воздействия этим элементом на эластичную среду, давление которой действует на заготовку [1]. Магнитно-эластоимпульсная штамповка (МЭИШ) пригодна для изготовления деталей из особо тонколистовых металлов [2, 3]. Однако для изготовления деталей методом формовки с одновременной вырубкой наружного контура данный процесс требует задания определенных соотношений размеров технологической оснастки, которые могут быть получены методами компьютерного моделирования. Для расчета импульсных процессов лучше всего подходит конечно-элементный комплекс LS-DYNAc эффективным явным решателем [3]. Целью данной работы являлась оценка характера разрушения фольги при вырубке в условиях одновременной утяжки заготовки за счет формоизменения рельефа при импульсном нагружении полиуретаном.

Рассматривается процесс одновременной формовки-вырубki детали «мембрана» из стали 12X18H10T толщиной 0.05 мм. Схема технологического устройства МЭИШ представлена на рисунке 1.

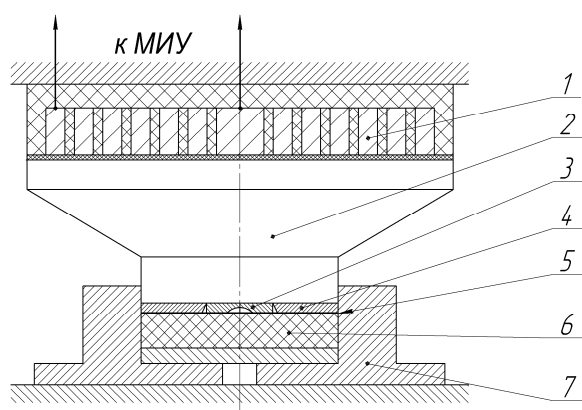


Рис. 1. Технологическое устройство МЭИШ: 1 – спиральный индуктор, 2 – подвижный элемент, 3 – матрица для формовки и вырубки, 4 – вкладыш, 5 – заготовка, 6 – полиуретан, 7 – контейнер

При прохождении сильного импульсного тока от магнитно-импульсной установки (МИУ) по спирали индуктора 1 в зазоре между спиралью и поверхностью подвижного элемента 2 возникает сильное импульсное

магнитное поле, давление которого вызывает перемещение подвижного элемента. За счет возникновения давления в полиуретане 6, помещенном в контейнер 7, осуществляется формовка и обрезка наружного контура фольги 5 в соответствии с контуром матрицы 3. Вкладыш 4 обеспечивает более высокую жесткость системы, а также качество вырубки. Использование такой технологической схемы с соответствующей геометрией вкладыша позволило получать детали необходимой точности без заусенцев по сравнению с квазистатической штамповкой полиуретаном (рисунок 2).

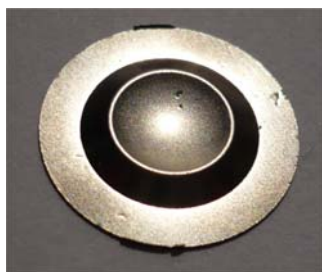
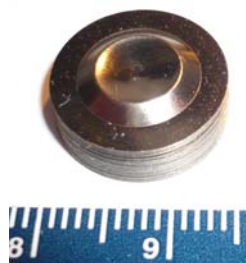
а)*б)*

Рис. 2. Деталь мембрана: *а* – полученная методом статической штамповки, *б* – стопка деталей, полученных импульсной штамповкой

Чтобы обеспечить разделение заготовки в момент после заполнения формовочного рельефа матрицы необходимо задать соответствующую геометрию вкладыша 4, что можно сделать при помощи компьютерного моделирования процесса. Также компьютерный расчет необходим для исследования характера разрушения фольги при вырубке в условиях одновременной утяжки заготовки.

Комплексная модель процесса МЭИШ определяется переходными процессами в нелинейном электрическом контуре МИУ, переходными процессами преобразования магнитного давления подвижным элементом и полиуретаном с деформируемой заготовкой. В данной работе представлена упрощенная модель процесса, когда давление в эластичной среде создается

перемещением жесткого поршня, контактирующего с поверхностью эластичного пуансона. Закон перемещения подбирается таким образом, чтобы закон давления в эластичной среде соответствовал экспериментальному закону или расчетному, полученному на основе комплексной модели[5].

Параметры давления эластичной среды были аналогичные для примененного технологического устройства МЭИШ, при получении деталей, показанных на рисунке 2, б. Давление было близко к положительной полуволне синусоиды с полупериодом длительностью примерно 95 мкс при толщине полиуретана 5 мм и диаметре контейнера 10 мм.

При компьютерном моделировании поведение материала эластичного инструмента (полиуретана марки СКУПФЛ) было описано моделью высокоэластичной резины «*Mooney-Rivlin*» с параметрами, взятыми из работы [6]. Для материала заготовки использована модель с линейным упрочнением «*Modified Piecewise Linear Plasticity*», позволяющая прогнозировать разрушение в виде нарушения сплошности. В качестве критерия разрушения использовалась критическая величина первой главной деформации, которая определялась из диаграммы предельных деформаций (*FLD*) при равенстве нулю второй главной деформации. Материал матрицы и вкладыша задавался упругим – «*Linear Isotropic*» с упругими константами стали. Коэффициент кулоновского трения задавался значениями: статический $\mu = 0.1$ и динамический $\mu = 0.05$. Для контакта задавалась опция «*2D Automatic Single Surface*». Задача решалась в осесимметричной постановке.

Размеры вкладыша (величина зазора, угол, радиус закругления) подбирались таким образом, чтобы при параметрах импульсного давления, обеспеченных технологическим устройством МЭИШ, вырубка начиналась позже полного заполнения рельефа матрицы (рисунок 3).

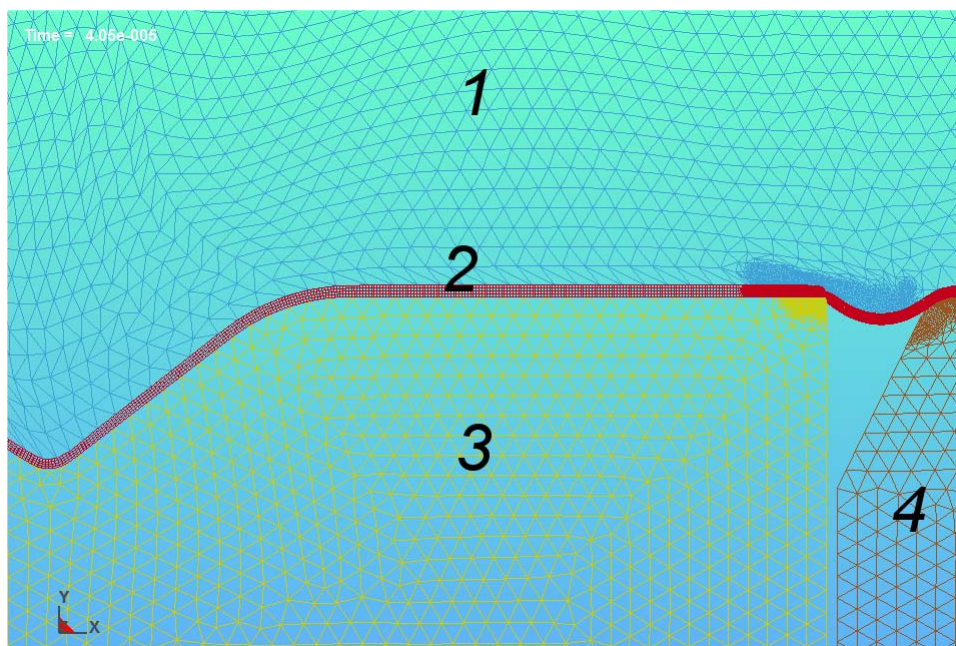


Рис.3. Момент начала отделения отхода заготовки ($t = 40.5$ мкс):

1 – эластичная среда, 2 – заготовка, 3 – матрица, 4 – вкладыш

Выбранные размеры вкладыша при фиксированном импульсе давления в эластичной среде соответствовали экспериментальным размерам, при которых были изготовлены детали (рисунок 2, б). Аналогичным образом можно подобрать размеры вкладыша для другого импульса давления.

Разрушение на кромке разделения отличается от случая штамповки в жестких штампах (рисунок 4).

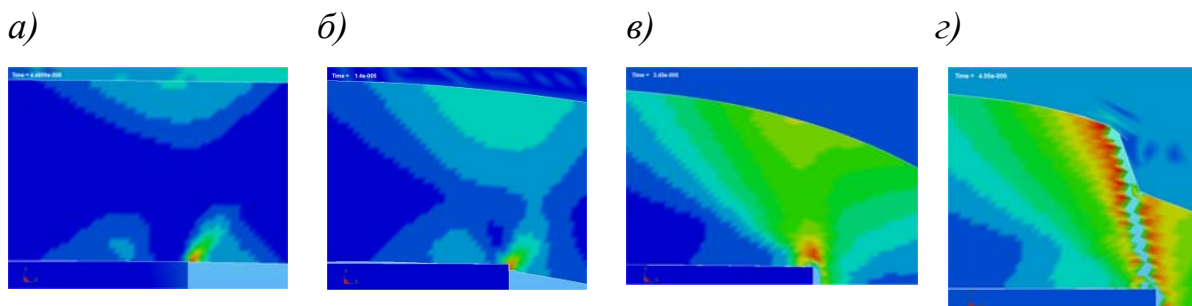


Рис. 4. Разделение заготовки на кромке матрицы в моменты времени:

а – $t = 4.5$ мкс, б – $t = 14$ мкс, в – $t = 34.5$ мкс, г – $t = 40.5$ мкс

На данном рисунке можно увидеть стадии разделения заготовки на фоне цвета эффективной пластической деформации. Видно, что практически с начала процесса (моменты *a*, *б*) происходит смятие кромкой матрицы нижней поверхности заготовки, что препятствует смещению заготовки в сторону формируемого рельефа. Очаг деформирования вблизи кромки матрицы расширяется незначительно, намного меньше, чем размытый очаг деформирования на противоположной стороне. Даже в момент близкий к образованию среза (момент *в*) трещина на верхней поверхности не образуется. В момент разрушения трещина идет снизу вверх в зону растянутой области заготовки (момент *г*) в отличие от разрушения в жестких штампах, когда трещины идут навстречу друг другу.

Таким образом: показана возможность магнитно-эластоимпульсной штамповки мембран из фольги стали 12Х18Н10Т толщиной 0.05 мм; для конкретного импульса давления сделан вариант расчета, обеспечивающий начало вырубки наружного контура после полного заполнения рельефа матрицы; показано, что характер разрушения на кромке разделения отличается от случая штамповки в жестких штампах из-за утяжки заготовки за счет формоизменения рельефа.

Библиографический список

1. Pat. USN3279228. Forming device and method / Brower D.F. General Dynamics Corp. Oct. 16, 1966.
2. Кравцов Я.В., Пономарев Э.Н. и др. Штамповка материалов с низкой электропроводностью при помощи энергии импульсного магнитного поля // Материалы семинара «Технология и опыт внедрения импульсных методов обработки металлов давлением». – Л.: ЛДНТП, 1970. – С.3–8.

3. Магнитно-импульсная штамповка с применением промежуточных эластичных сред / Богоявленский К.Н. [и др.] // Л.: ЛДНТП. – 1982, 36 с.

4. J.O. Hallquist, LS-DYNA theoretical manual. Livermore Software Technology Corporation: Livermore, CA, 498 p. (2006)

5. Мамутов А.В., Мамутов В.С. Компьютерный расчет механического концентратора давления для магнитно-эластоимпульсной штамповки. В сб. докл. «Современное машиностроение. Наука и образование», 4 Международная научно-практическая конференция, СПбГПУ, 2014, с. 615–624.

6. Даева Н. Н. Теоретические и экспериментальные исследования процессов разделения листового металла эластичными средами // Известия ВУЗов. Сер. "Машиностроение". – 2011. – № 6. – С. 38–43.

УДК 669.715

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОБТЯЖКОЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБОЛОЧЕК СЛОЖНЫХ ФОРМ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ РАСТЯЖНО-ОБТЯЖНОМ ПРЕССЕ

Михеев В.А.¹, Роберто де Алваренга², Гусев Д. В.³

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

2 - аспирант кафедры ОМД Самарского государственного университета,

3 – магистр кафедры ОМД Самарского государственного университета, г. Самара

Аннотация. В статье приведены результаты моделирования формообразования обтяжкой элемента-осьмушки крупногабаритных полусферической и полутороидной оболочек из свариваемого листового материала алюминиевых сплавов P-1580M и AMg6M, толщиной 4,5 мм с помощью программного пакета ANSYS LS-DYNA. Выявлена технологическая возможность применения специализированного обтяжного оборудования, оснащенного штангами различной конфигурации, которые крепятся на кронштейнах к порталу прессы.

Ключевые слова: формообразование обтяжкой, сегменты полусферической и полутороидной оболочек, растяжно-обтяжной пресс, штанги различной конфигурации.

MODELING OF THE FORMATION OF TIGHT-FITTING LARGE-SIZED SHELLS OF COMPLEX SHAPES ON THE SPECIALIZED STRETCH- TIGHT PRESS

Mikheev V. A.¹, Roberto de Alvarenga², Gusev D. V.³

1- Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of OMD of Samara State University,

2-post-graduate student of the Department of OMD of Samara State University,

3-Master of the Department of OMD of Samara State University, Samara Annotation.

Abstract. The article presents the results of modeling the formation of a tight -fitting octopus element of large-sized hemispherical and semitoroid shells made of welded sheet material of aluminum alloys P-1580M and AMg6M, 4.5 mm thick, using the ANSYS LS-DYNA software package. The technological possibility of using specialized tight equipment equipped with rods of various configurations, which are attached to the press portal on brackets, is revealed.

Keywords: tight-fitting shaping, segments of hemispherical and semitoroid shells, stretch-tight

Введение

Крупногабаритную полусферическую оболочку получают из отдельных элементов-осьмушек свариваемого алюминиевого толстостенного листового материала. Такая оболочка является основной конструкцией космических аппаратов. Поэтому постоянно существует необходимость получения обтяжкой элемента-осьмушки полусферической оболочки радиуса $R=5180$ мм при размерах заготовки $4000 \times 2100 \times 4,5$ (мм×мм×мм) из свариваемого алюминиевого сплава АМг6М. Для реализации

формообразования обтяжкой до сих пор используется стандартное обтяжное оборудование (пресс РО-3М, имеющий угол поворота зажимных устройств до 40°). Однако он не позволял изготавливать крупногабаритные детали с углами охвата листом обтяжного пуансона α_k близких к 60° , даже не смотря на то, что усилие растяжения на прессе РО-3М воспринимается ходовыми винтами, а не фиксаторами [1].

Для изготовления данной оболочки практически однотипной крупногабаритной детали этот пресс РО-3М превратили в специализированное обтяжное оборудование для реализации комбинированного способа формообразования обтяжкой отдельных элементов-осьмушек крупногабаритной полусферической оболочки. Во-первых, для обеспечения продольного угла листом обтяжного пуансона α_k до 60° и нужных условий для реализации комбинированного способа обтяжки была изменена силовая кинематическая схема работы пресса. Во-вторых, увеличили силовые параметры обтяжного пресса РО-3М в 1,5 раза. Это было осуществлено путем увеличения рабочего давления в гидроприводе (была заменена насосная станция, трубопроводы и гидроаппаратура).

При изменении силовой кинематической схемы работы пресса РО-3М (рисунок 1) плунжерные растяжные цилиндры 1 и зажимные устройства 2 были установлены в горизонтальной плоскости, а заданный угол облегающего пуансона 3 заготовкой был получен за счет перегиба листовой заготовки через прямолинейные штанги 5, которые крепятся на кронштейнах к portalу пресса. Портал представляет собой сварную жесткую балку, установленную на четырех стойках, закрепленных на станине пресса.

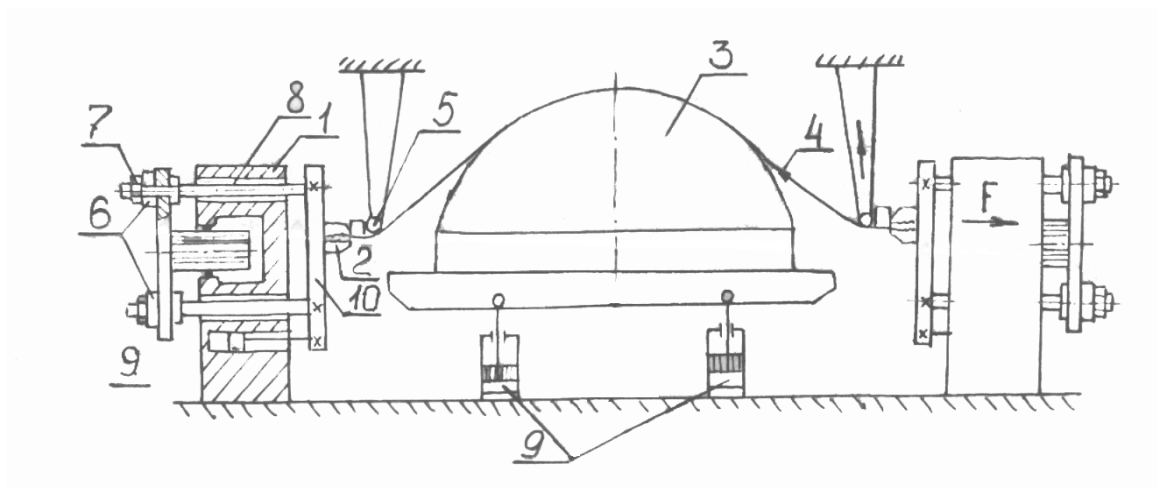


Рисунок 1- Схема обтяжки оболочки сферической формы на модернизированном прессе РО-3М после изменения силовой кинематической схемы работы

При такой силовой кинематической схеме работы пресса растягивающее усилие раскладывается на составляющие, одна из которых передается на портал пресса, который по своему назначению на такие нагрузки не был рассчитан. В связи с этим при модернизации пресса портал был, соответствующим образом, усилен (рисунок 2). При этом в процессе длительной эксплуатации пресса РО-3М данное усиление портала было проверено при проведении восстановительных работ.

В процессе эксплуатации периодически требовалось определять значения растягивающих усилий. Для замера усилий пресс был оборудован специально разработанной тензометрической установкой. Мессдозы 6 с проволочными тензодатчиками были помещены под гайки 7, на направляющие – 8, которые передают усилие растяжения от гидроцилиндра 9 к плите 10, на которой установлены зажимные губки 2 (см. рисунок 1).

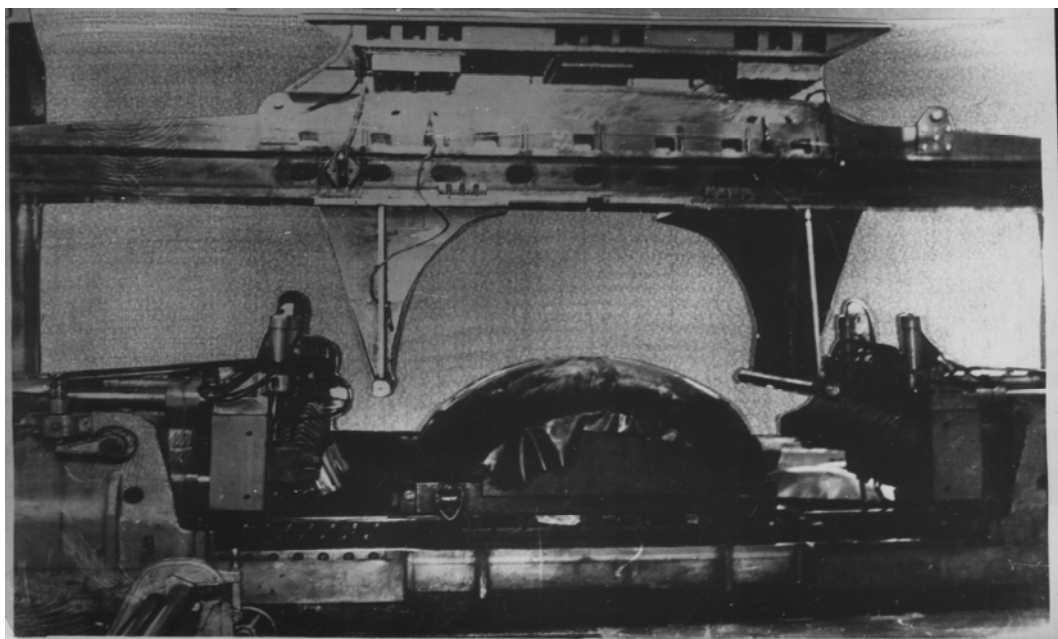


Рисунок 2 - Обтяжной пресс РО-3М, приспособленный для формообразования обтяжкой элемента-осьмушки полусферической оболочки радиуса $R=5180$ мм при размерах заготовки $4000 \times 2100 \times 4,5$ (мм×мм×мм) из свариваемого алюминиевого сплава АМг6М

В ходе работы по отработке комбинированного способа формообразования обтяжкой крупногабаритной полусферической оболочки были опробованы технологическая возможность изменения угла охвата и последовательность работы различных силовых органов пресса РО-3М. Верхний стол со своими гидроцилиндрами был убран. Все остальные силовые гидравлические цилиндры пресса (растяжные, нижнего стола) были запитаны от одного индивидуального насосного привода.

После такого изменения силовой кинематической схемы работы модернизированный пресс РО-3М длительное время эксплуатируется, изготавливая поштучно элемент-осьмушки полусферической оболочки радиуса $R=5180$ мм при размерах заготовки $4000 \times 2100 \times 4,5$ (мм×мм×мм) из свариваемого алюминиевого сплава АМг6М. Это позволило изготовить большое количество оболочек уже около 1200 штук и набрать достаточный статистический материал по контролю очередности и времени работы

отдельных силовых органов пресса. Для этого пресс был оборудован записывающей контрольной системой.

Реализация комбинированной обтяжки после изменения силовой кинематической схемы работы пресса РО-3М предусматривает соответствующую комбинацию элементов обтяжки с растяжением, простой и ступенчатой обтяжки. При этом основной задачей является максимально возможное формообразование центрального шарового участка оболочки, характеризуемое шириной очага деформации в центральном сечении, без избыточного деформирования листовой заготовки в районе зажимных устройств. Потребная деформация при формообразовании центрального шарового участка оболочки составляет 0,25 относительных единиц (25%).

Решению этой задачи способствовала серия экспериментов, позволившая обосновать оптимальный угол охвата на первой ступени обтяжки. Совместный замер усилий и деформации позволил установить связь между этими параметрами и углом охвата. В частности, было установлено, что угол охвата влияет на соотношения между деформацией в опасном сечении и усилием. При увеличенном угле охвата деформации в центральном сечении затруднены.

В процессе эксплуатации пресса РО-3М было изготовлено и проверялось в работе несколько вариантов систем объективного контроля деформации и автоматизации процесса обтяжки. Прежде всего, система, основанная на данных об истинном усилии обтяжки; система с фазовыми датчиками; система с фотоэлектрическими импульсными датчиками и др. Последняя система оказалась наиболее удачной, как в конструктивном отношении, так и по показателям точности. В этой системе применены фотоэлектрические датчики, которые смонтированы в теле пуансона. Для многопереходного процесса это оказалось удачным решением, т.к. все переходы обтяжки осуществляются по одному и тому же пуансону [2,3].

Однако большой потребности в автоматизации процесса обтяжки всегда отсутствовала. Это связано с тем, что пресс РО-3М, как специализированное обтяжное оборудование, изготавливал всегда одну и ту же деталь элемента-осьмушки полусферической оболочки очень небольшими партиями из одного и того же свариваемого алюминиевого сплава АМг6М. Недавно рассматривался вопрос об изготовлении этой же детали из листа алюминиевого сплава Р-1580М системы Al-Mg-Sc.

Это перспективный материал с пониженной концентрацией скандия в два раза по сравнению с первоначальными представителями данной группы, но с повышенными характеристиками прочности по сравнению с АМг6М. Отсутствует необходимость в проведении упрочняющей термообработки. Кроме этого, планируется изготавливать на прессе РО-3М деталь элемента-осьмушки полутороидной оболочки, прежде всего, из листа алюминиевого сплава АМг6М, толщиной 4,5 мм.

Для уменьшения трудоемкости проводимых экспериментов на модернизированном прессе РО-3М, которая была очень значительной и затратной при реализации комбинированной обтяжки после изменения силовой кинематической схемы работы пресса при обтяжке детали элемента-осьмушки полусферической оболочки из свариваемого алюминиевого сплава АМг6М, необходимо перейти на конечно-элементное моделирование с помощью программного пакета ANSYS LS-DYNA.

В результате обеспечивается визуализация развития очага деформации на поверхности листовой заготовки, настраивая анимацию движений рабочих органов пресса для конкретного процесса формообразования обтяжкой. При этом можно оценить реологию поведения нового листового алюминиевого сплава Р-1580М в отожженном состоянии, приводя сравнительный анализ механических и технологических показателей с листовым алюминиевым сплавом АМг6М.

1. Сравнительный анализ механических и технологических показателей листового материала из алюминиевых сплавов P-1580M и АМг6М

По технологическим показателям листы из алюминиевых сплавов P-1580M и АМг6М в целом схожие. Оба деформируются в холодном состоянии, имеют почти одинаковые коэффициенты вытяжки, отбортовки и гибки. По поводу обтяжки таких данных пока нет. Листы обоих сплавов хорошо свариваются аргонодуговой и электроннолучевой сваркой с получением герметичных соединений, обладающих высокой прочностью при переменных нагрузках. Прочность сварного соединения составляет $(0,8 - 0,84) \sigma_B$ листового материала, толщиной 4,5 мм. Однако по механическим характеристикам имеется существенное преимущество листового материала P-1580M (таблица 1).

Таблица 1- Механические характеристики алюминиевых листов сплавов АМг6М и P-1580M толщиной 4,5 мм

Листовой материал, 4,5 мм	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %
АМг6М	320	160	15,0
P1580M	414	290	16,5

Алюминиевый лист P-1580M толщиной 4,5 мм при сопоставимых значениях пластичности имеет более высокие характеристики по пределу текучести и прочности, чем алюминиевый лист АМг6М толщиной 4,5 мм. При этом плотность у обоих сплавов одинаковая ($2,64 \text{ г/см}^3$). Однако листы из алюминиевого сплава P-1580M обладают повышенной анизотропией свойств по сравнению со сплавом АМг6М. Приведем свойства материалов АМг6М и P-1580M в среде ANSYS.

Свойства материала АМг6М в среде ANSYS

Properties of Outline Row 5: AMg6.				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	 
2	 Material Field Variables	 Table		
3	 Density	2640	kg m ⁻³	 
4	  Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
5	 Coefficient of Thermal Expansion	2,3E-05	C ⁻¹	
6	  Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's ...		
8	Young's Modulus	7,1E+10	Pa	
9	Poisson's Ratio	0,33		
10	Bulk Modulus	6,9608E+10	Pa	
11	Shear Modulus	2,6692E+10	Pa	
12	 Tensile Yield Strength	1,7E+08	Pa	 
13	 Compressive Yield Strength	1,7E+08	Pa	 
14	 Tensile Ultimate Strength	3,4E+08	Pa	 
15	 Compressive Ultimate Strength	0	Pa	 
16	 Isotropic Relative Permeability	1		 

Для полной визуализации приведем эти свойства в привычной форме при обозначении размерностей: плотность – 2640 кг/мм³; коэффициент температурного расширения – $2,3 \cdot 10^{-5} \text{ C}^{-1}$; модуль Юнга – $7,1 \cdot 10^{10} \text{ Па}$; коэффициент Пуассона – 0,33; объемный модуль – $6,96 \cdot 10^{10} \text{ Па}$; модуль сдвига – $2,66 \cdot 10^{10} \text{ Па}$; предел текучести при растяжении – $1,7 \cdot 10^8 \text{ Па}$; предел текучести при сжатии – $1,7 \cdot 10^8 \text{ Па}$; предел прочности при растяжении – $3,4 \cdot 10^8 \text{ Па}$.

Свойства материала P1580M в среде ANSYS

Properties of Outline Row 3: P1580					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	2640	kg m ⁻³		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
5	Coefficient of Thermal Expansion	2,3E-05	C ⁻¹		
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's ...			
8	Young's Modulus	7,1E+10	Pa		
9	Poisson's Ratio	0,32			
10	Bulk Modulus	6,5741E+10	Pa		
11	Shear Modulus	2,6894E+10	Pa		
12	Tensile Yield Strength	2,9E+08	Pa		
13	Compressive Yield Strength	2,9E+08	Pa		
14	Tensile Ultimate Strength	4,1E+08	Pa		
15	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		
16	Isotropic Relative Permeability	1			

Для полной визуализации приведем эти свойства в привычной форме при обозначении размерностей: плотность – 2640 кг/мм³; коэффициент температурного расширения – $2,3 \cdot 10^{-5} \text{ C}^{-1}$; модуль Юнга – $7,1 \cdot 10^{10} \text{ Па}$; коэффициент Пуассона – 0,32; объемный модуль – $6,57 \cdot 10^{10} \text{ Па}$; модуль сдвига – $2,68 \cdot 10^{10} \text{ Па}$; предел текучести при растяжении – $2,9 \cdot 10^8 \text{ Па}$; предел текучести при сжатии – $2,9 \cdot 10^8 \text{ Па}$; предел прочности при растяжении – $4,1 \cdot 10^8 \text{ Па}$.

2. Результаты моделирования формообразования обтяжкой элемента-осьмушки полусферической и полутороидной оболочки из листа алюминиевого сплава

Заданный угол облегания пуансона листовой заготовкой был получен за счет перегиба листовой заготовки через штанги, которые крепятся на кронштейнах к portalу прессы. Для моделирования были предложены три конструкции штанг: прямолинейные, которые установлены на portalе прессы; криволинейные штанги в горизонтальной плоскости,

соответствующие по кривизне обтяжному пуансону и криволинейные штанги в вертикальной плоскости той же кривизны.

Для двух первых вариантов конструкции штанг использовали следующую кинематическую схему работы прессы РО-3М при формообразовании обтяжкой элемента-осьмушки полусферической оболочки. Пуансон поднимается вверх по оси Y на расстояние 940 мм, обтягивая лист. Затем зажимные губки прессы растягивают лист по оси X на 300 мм с каждой стороны. Условное время расчета – 0,2 с. Движение пуансона вверх: 0 – 0,1 с; растягивание губками краев листа: 0,1 – 0,2 с.

Ниже приведены результаты моделирования варианта формообразования обтяжкой с прямолинейными штангами: значения деформации в трех характерных точках А, В и С оболочки, графики изменения в этих же точках деформации и толщины оболочки из листового материала АМг6М (рисунки 3-5) и Р-1580М (рисунки 6-8) толщиной 4,5 мм.

1. Вариант с прямолинейными штангами

Материал: АМг6

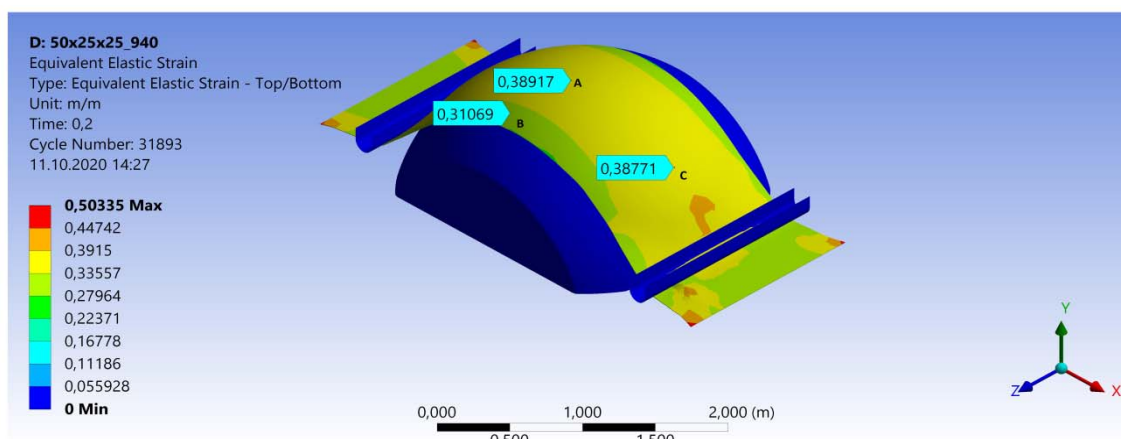


Рисунок 3 – Значения деформаций в трех характерных точках оболочки А, В и С

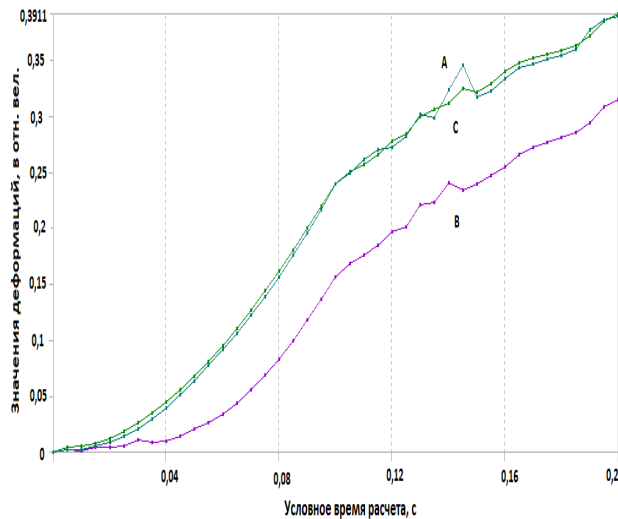


Рисунок 4 – График изменения деформаций в трех характерных точках оболочки А, В и С

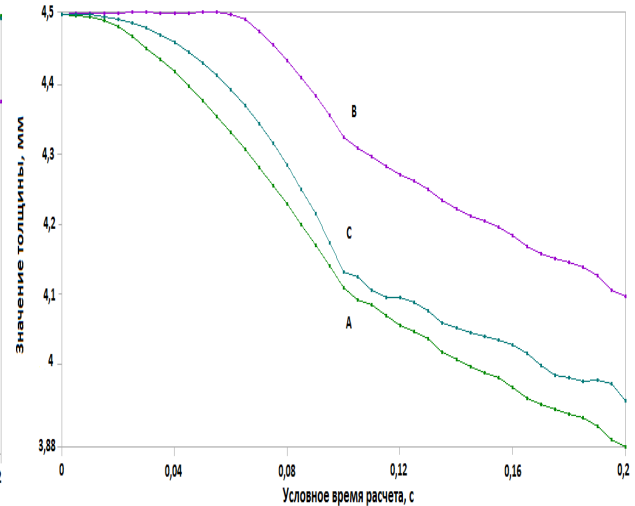


Рисунок 5 – График изменения толщины в трех характерных точках оболочки А, В и С

Материал: Р 1580

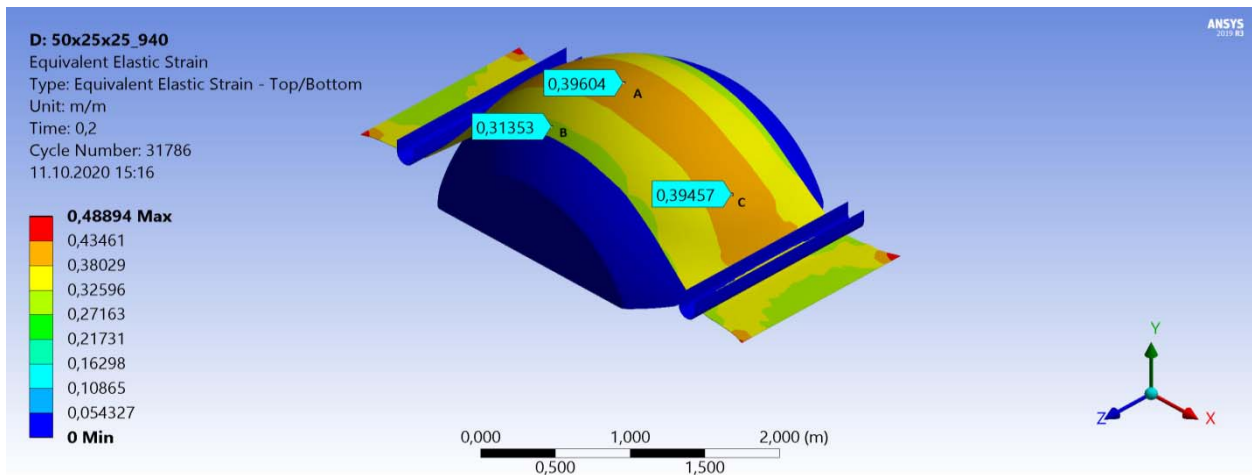


Рисунок 6 – Значения деформаций в трех характерных точках оболочки А, В и С

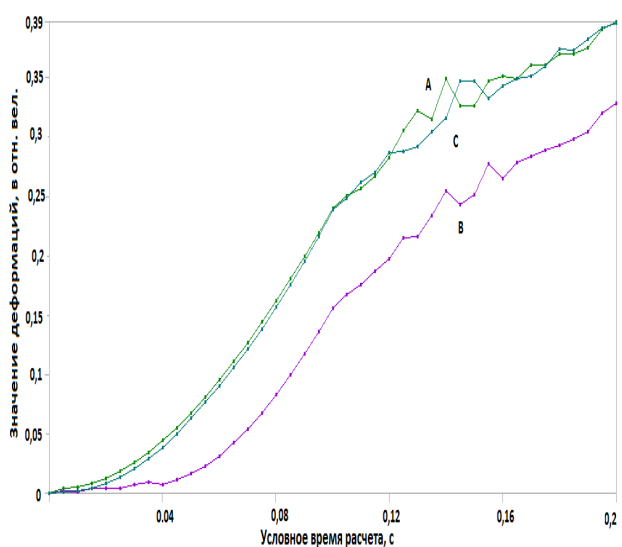


Рисунок 7 - График изменения деформаций в трех характерных точках оболочки А, В и С

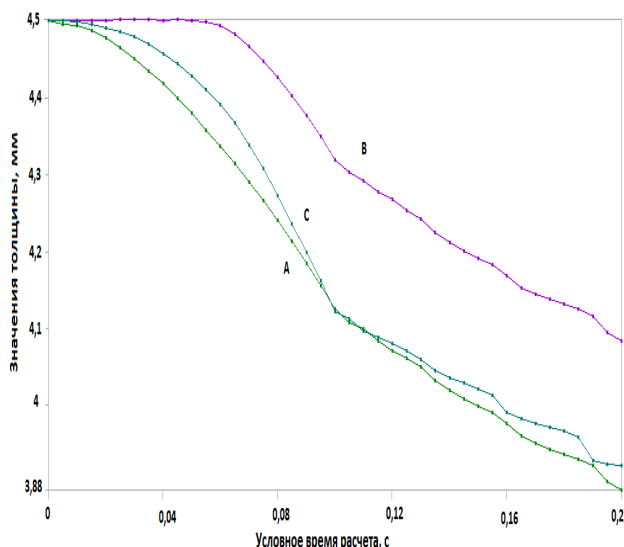


Рисунок 8 - График изменения толщины в трех характерных точках оболочки А, В и С

Ниже приведены результаты моделирования варианта формообразования обтяжкой с криволинейными штангами в горизонтальной плоскости: значения деформации в трех характерных точках А, В и С оболочки, графики изменения в этих же точках деформации и толщины оболочки из листового материала АМг6М (рисунки 9-11) и Р-1580М (рисунки 12-14) толщиной 4,5 мм.

2. Вариант с криволинейными штангами в горизонтальной плоскости

Материал: АМг6

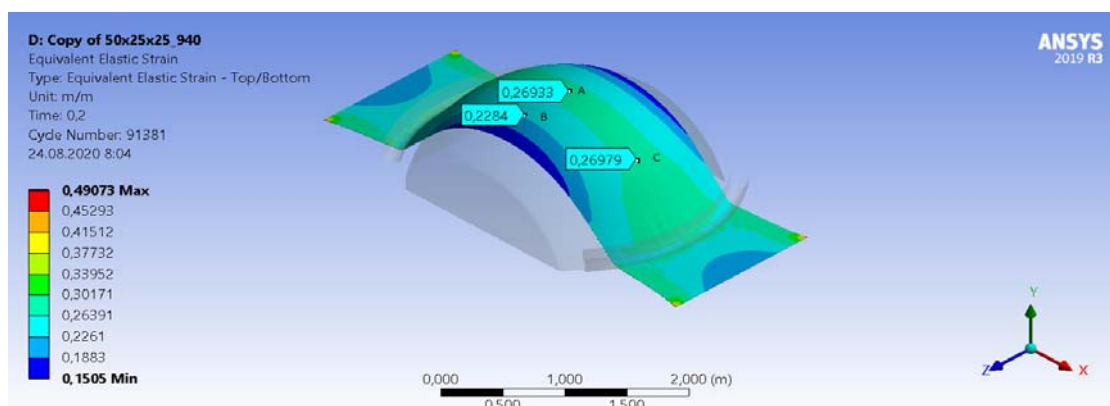


Рисунок 9 – Значения деформаций в трех характерных точках оболочки А, В и С

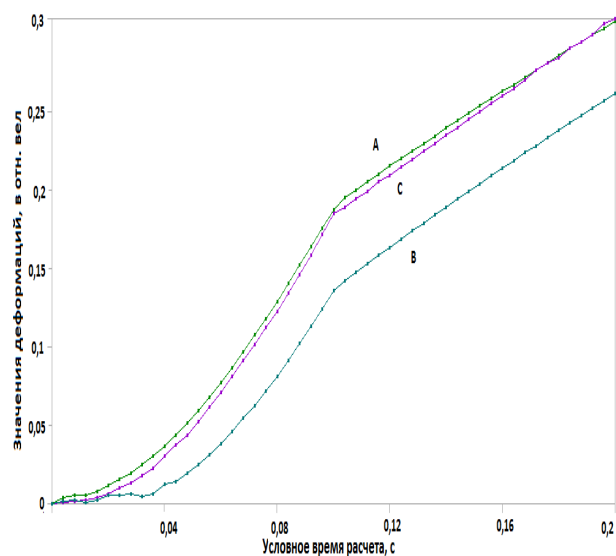


Рисунок 10 - График изменения деформаций в трех характерных точках оболочки А, В и С

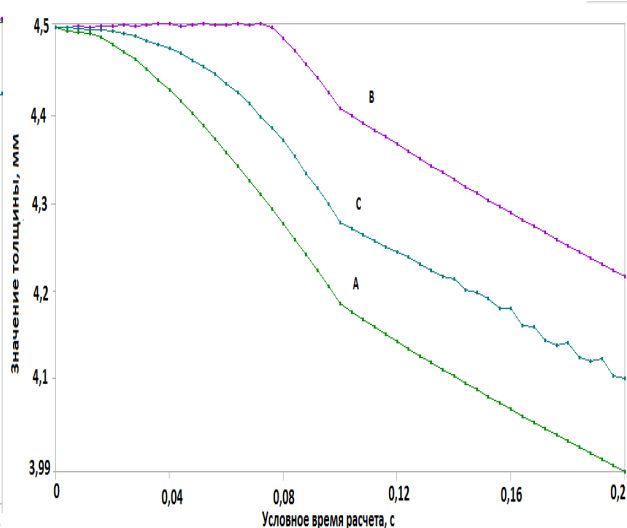


Рисунок 11 - График изменения толщины в трех характерных точках оболочки А, В и С

Материал: Р 1580

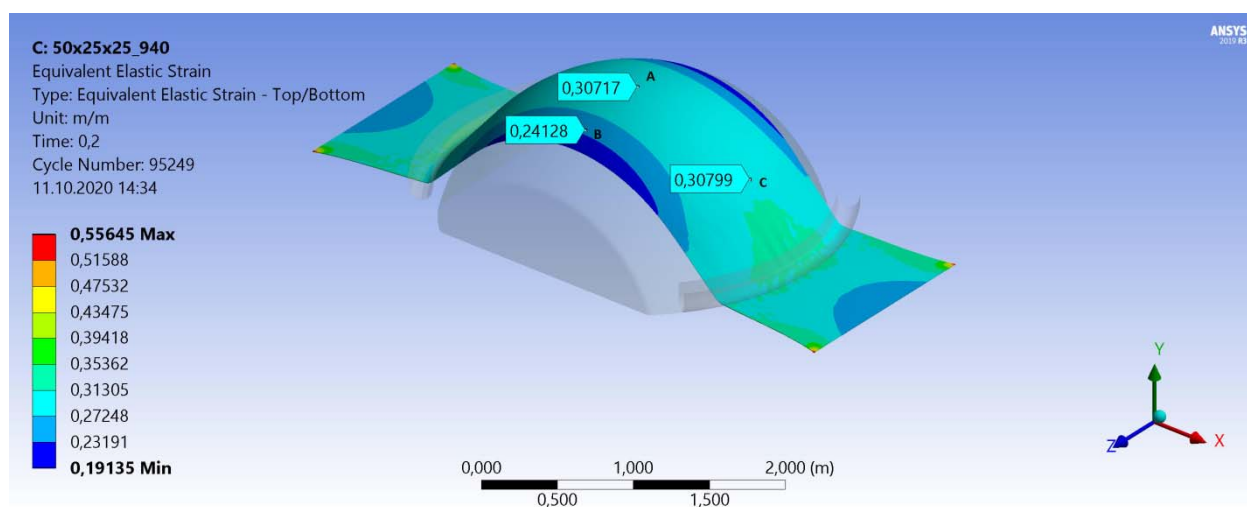


Рисунок 12 – Значения деформаций в трех характерных точках оболочки А, В и С

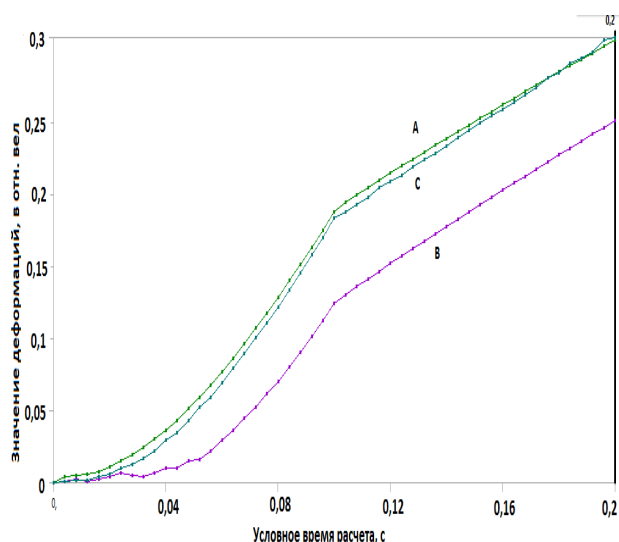


Рисунок 13 - График изменения деформаций в трех характерных точках оболочки А, В и С

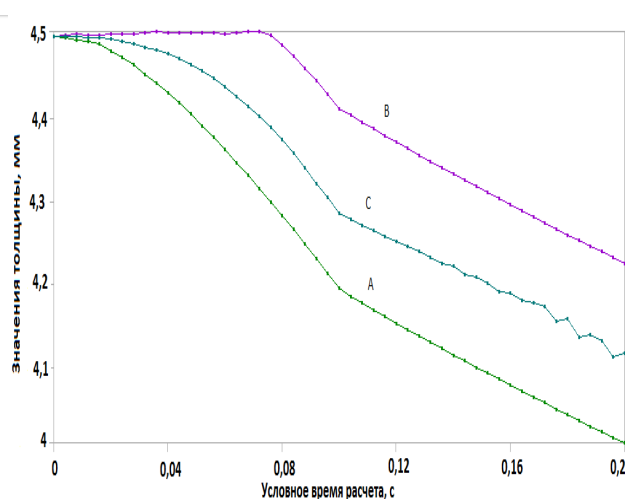


Рисунок 14 - График изменения толщины в трех характерных точках оболочки А, В и С

Для третьего варианта конструкции с криволинейными вертикальными штангами использовали следующую кинематическую схему работы пресса РО-3М при формообразовании обтяжкой элемента-осьмушки полусферической оболочки.

0 – 0,1 с: движение пуансона вверх на 1285 мм;

0,1 – 0,2 с: растягивание цилиндрами за края листа через штанги на 300 мм;

0,2 – 0,3 с: движение пуансона вниз на 285 мм с растягиванием листа еще на 150 мм;

0,3 – 0,4 с: движение пуансона вверх на 285 мм.

Ниже приведены результаты моделирования варианта формообразования обтяжкой с криволинейными штангами в вертикальной плоскости: значения деформации в трех характерных точках А, В и С оболочки, графики изменения в этих же точках деформации и толщины оболочки из листового материала АМг6М (рисунки 15-17) и Р-1580М (рисунки 18-20) толщиной 4,5 мм.

3. Вариант с криволинейными вертикальными штангами

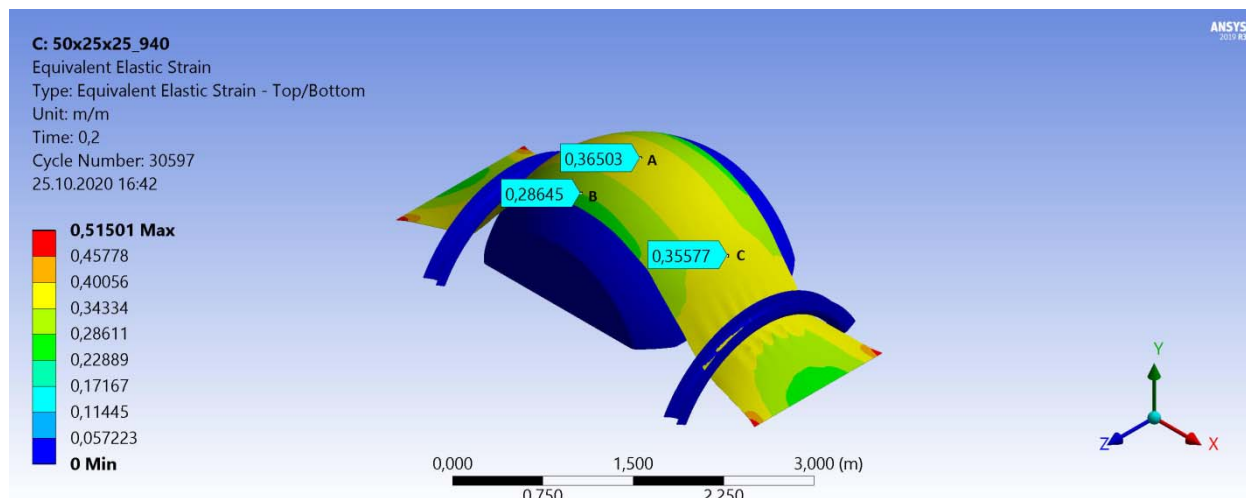
Материал: АМг6

Рисунок 15 – Значения деформаций в трех характерных точках оболочки А, В и С

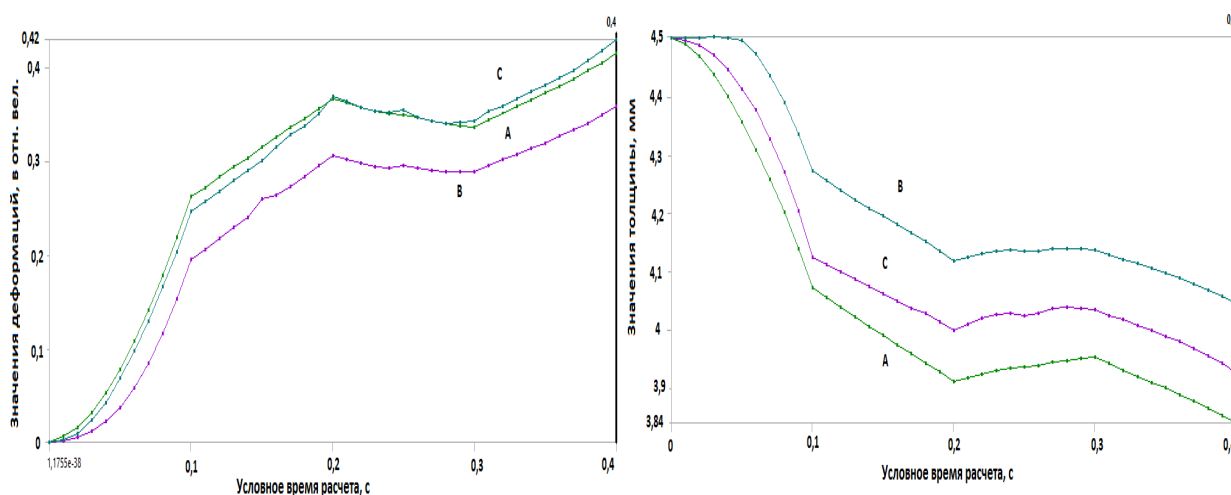


Рисунок 16 - График изменения деформаций в трех характерных точках оболочки А, В и С

Рисунок 17 - График изменения толщины в трех характерных точках оболочки А, В и С

Материал: P1580

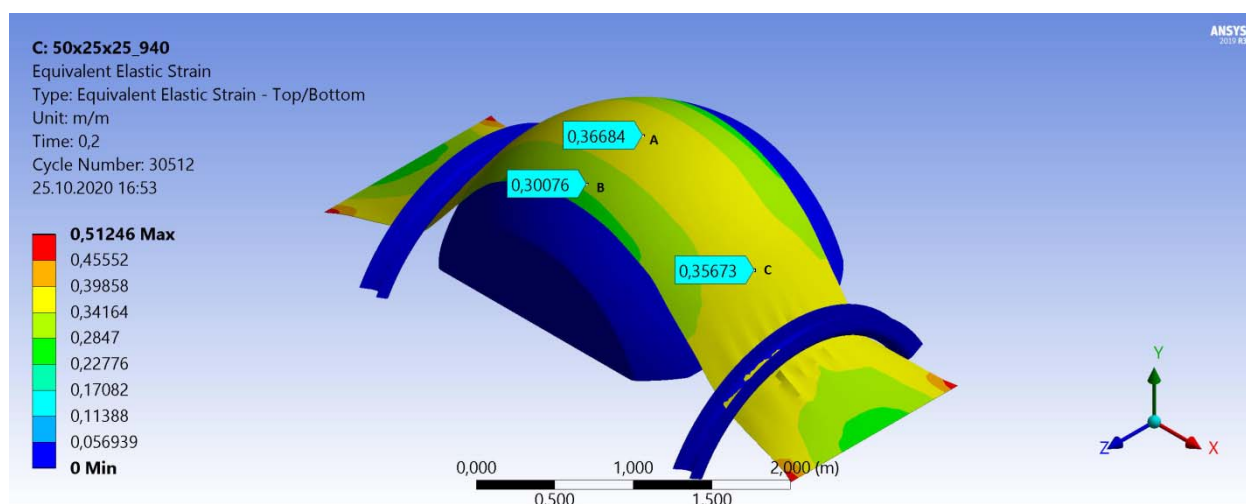


Рисунок 18 – Значения деформаций в трех характерных точках оболочки А, В и С

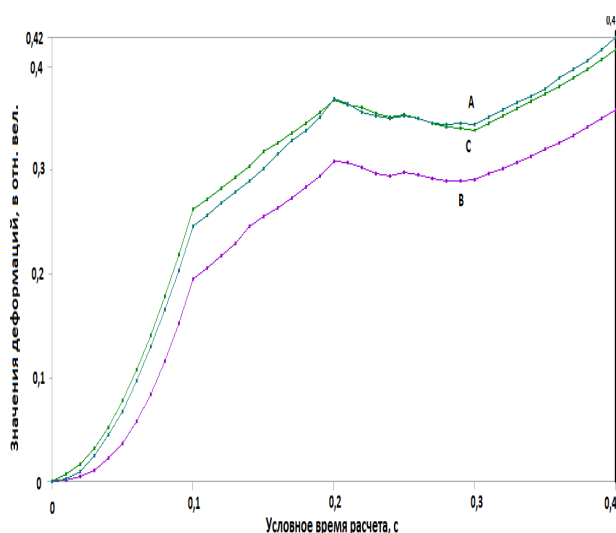


Рисунок 19 - График изменения деформаций в трех характерных точках оболочки А, В и С

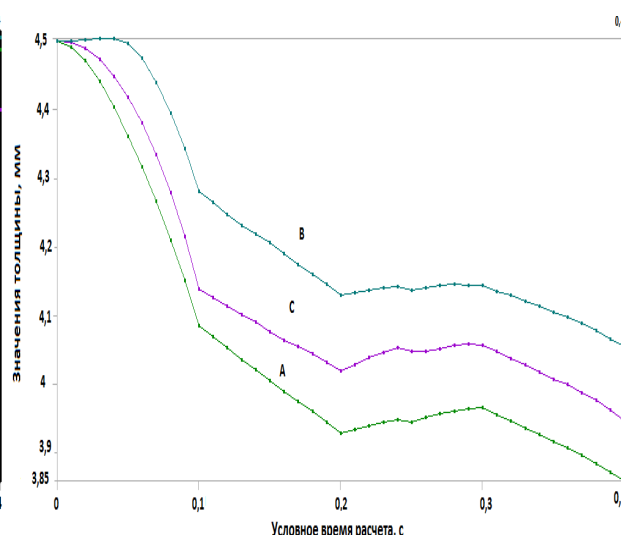


Рисунок 20 - График изменения толщины в трех характерных точках оболочки А, В и С

4. Моделирование элемента полутороидной оболочки

Ниже приведены результаты моделирования детали элемента-осьмушки полутороидной оболочки, прежде всего, из листа алюминиевого сплава АМг6М (рисунки 22-24) и Р-1580М (рисунки 25-27), толщиной 4,5 мм. Габариты заготовки: 3100х1600х4,5 мм. Использовались криволинейные штанги в горизонтальной плоскости выпуклой и вогнутой формы согласно торообразному элементу-осьмушке (рисунки 21).

Применили следующую кинематическую схему работы пресса РО-3М:
0 – 0,1 с: движение пуансона вверх на 860 мм. Значения деформации были зафиксированы в четырех характерных точках А, В, С и Д соответственно с выпуклой и вогнутой стороны.

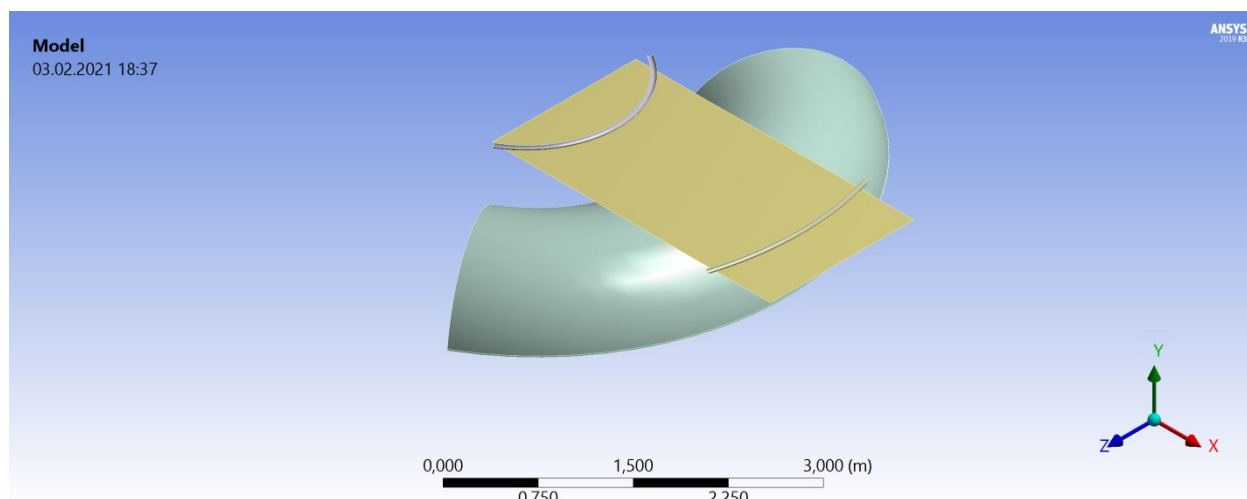


Рисунок 21 – Модель процесса формообразования обтяжкой детали элемента-осьмушки полутороидной оболочки с криволинейными штангами в горизонтальной плоскости выпуклой и вогнутой формы

Материал: АМг6

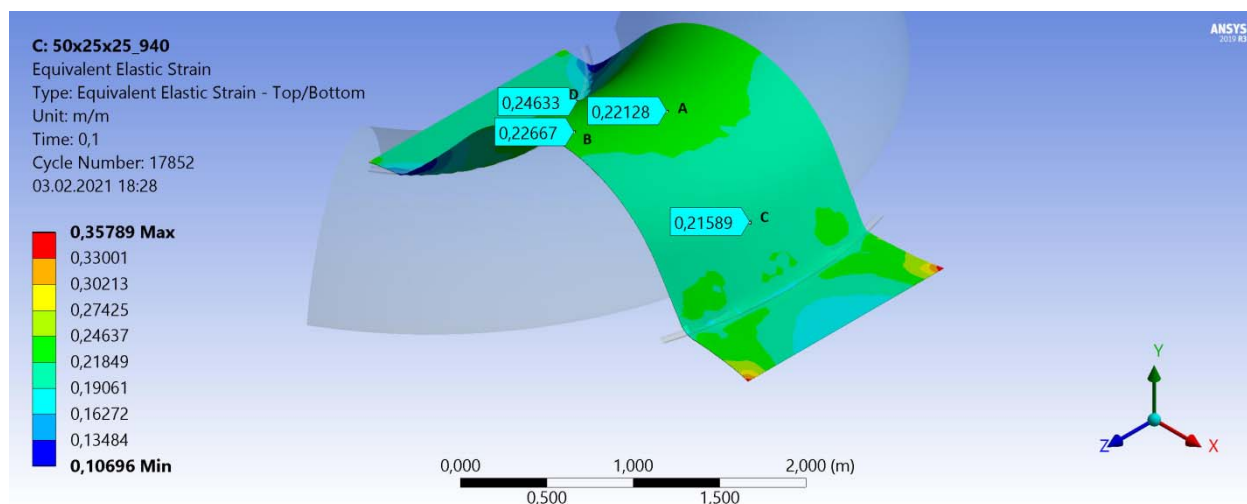


Рисунок 22 – Значения деформаций в характерных точках оболочки А, В, С и Д с выпуклой и вогнутой стороны

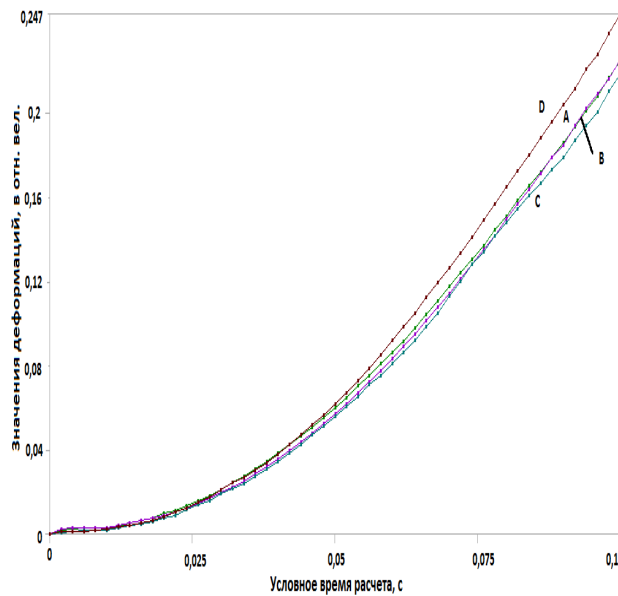


Рисунок 23 – График изменения деформаций в характерных точках оболочки А, В, С и Д с выпуклой и вогнутой стороны

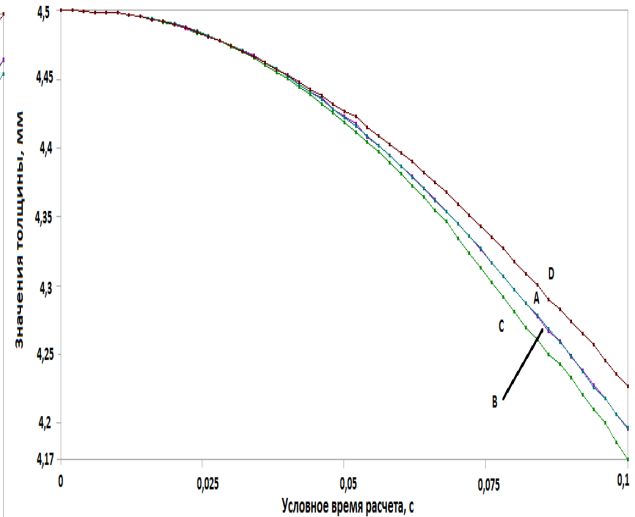


Рисунок 24 – График изменения толщины в характерных точках оболочки А, В, С и Д с выпуклой и вогнутой стороны

Материал: P1580

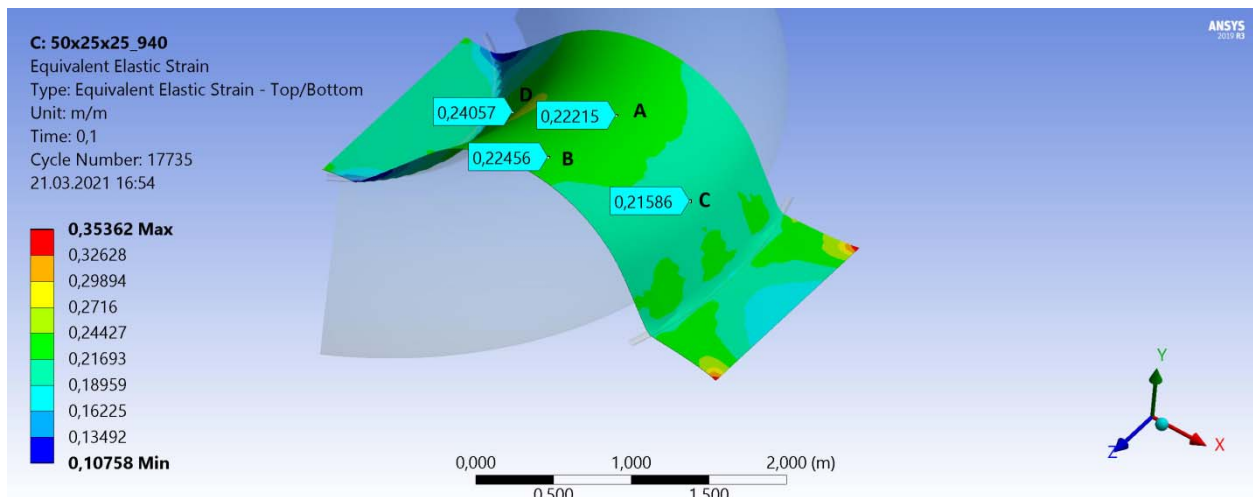


Рисунок 25 – Значения деформаций в характерных точках оболочки А, В, С и Д с выпуклой и вогнутой стороны

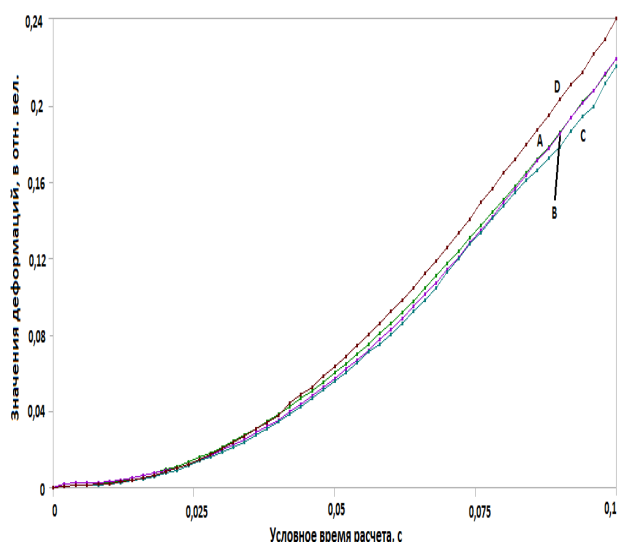


Рисунок 26 – График изменения деформаций в характерных точках оболочки А, В, С и Д с выпуклой и вогнутой стороны

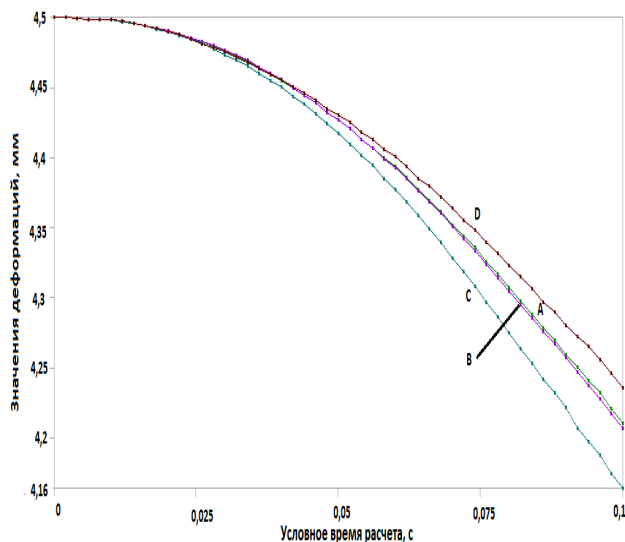


Рисунок 27 – График изменения толщины в характерных точках оболочки А, В, С и Д с выпуклой и вогнутой стороны

Выводы. Анализ результатов конечно-элементного моделирования с помощью программного пакета ANSYS LS-DYNA процессов формообразования обтяжкой деталей элемента-осьмушки полусферической и полутороидной оболочки на специализированном растяжно-обтяжном прессе РО-3М показал технологические возможности снижения неравномерности деформаций листовой заготовки. При моделировании процессов формообразования обтяжкой деталей элемента-осьмушки полусферической формы из листового материала АМг6М и Р-1580М толщиной 4,5 мм выполнили апробацию различных конструкций штанг: прямолинейные, которые установлены на портале прессы; криволинейные штанги в горизонтальной плоскости, соответствующие по кривизне обтяжному пуансону и криволинейные штанги в вертикальной плоскости той же кривизны. Кроме того, выявили возможность формообразования обтяжкой деталей элемента-осьмушки полутороидной оболочки из

листового материала АМгбМ с криволинейными штангами в горизонтальной плоскости выпуклой и вогнутой формы.

Это были предварительные варианты моделирования, результаты которых определяют требования тщательной проработки технологии получения элементов полусферической и полутороидной оболочки, которые относятся к сложной геометрической форме. При этом неравномерность деформирования листовой заготовки, возникающая при обтяжке, зависит как от самой силовой кинематической схемы обтяжки, так и от условий трения, толщины, характера анизотропии, деформационных характеристик листового проката и ее термообработки.

Однако эффект снижения неравномерности деформирования листовой заготовки имеется при использовании криволинейных штанг в горизонтальной плоскости, соответствующие по кривизне обтяжному пуансону. Аналогичный эффект можно получить при формообразовании обтяжкой деталей элемента-осьмушки полутороидной оболочки из листового материала АМгбМ с криволинейными штангами в горизонтальной плоскости выпуклой и вогнутой формы. В случае применения криволинейных штанг в вертикальной плоскости той же кривизны при формообразовании обтяжкой деталей элемента-осьмушки полусферической оболочки из листового материала АМгбМ и Р-1580М толщиной 4,5 мм требует подбор соответствующей кривизны.

Библиографический список

1. Громова А.Н., Завьялова В.И., Коробов В.К. Изготовление деталей из листов и профилей при серийном производстве. – М.: Оборонгиз, 1960. – 340 с.
2. А.С. № 538764 (СССР). Растяжно-обтяжной пресс / В.П. Чистяков, М.И. Хасьянов, Н.Е. Корочкин – Оpubл. в Б.И., 1976, №46.

3. Чистяков В.П., Михеев В.А. Интенсификация процессов обтяжки деталей обшивок летательных аппаратов двойной кривизны. – В сб.: Вопросы пластического формоизменения. – Куйбышев, 1979. с.60-65.

УДК 621.9.025

**МОДЕЛЬ ДЕФОРМАЦИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ
ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ УДАРНЫХ НАГРУЖЕНИЯХ****Морозов О.И.¹, Табаков В.П.², Кокорин В.Н.³, Илюшкин М.В.⁴***1 – старший преподаватель кафедры «Материаловедение и ОМД» ФГБОУ ВО УлГТУ;**2 – д.т.н., профессор, зав. кафедрой кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО УлГТУ;**3 – д.т.н., профессор, зав. кафедрой кафедры «Материаловедение и ОМД» ФГБОУ ВО УлГТУ;**4 – к.т.н., зам. директора АО «Ульяновский НИАТ».*

Аннотация. Определено влияние износостойкого покрытия, нанесенного на рабочую кромку штампового инструмента на НДС в зоне деформации. В программном пакете Ansys LS-dyna были построены модели разрушения и трещинообразования износостойких покрытий под действием ударных и сдвиговых деформаций.

Ключевые слова: штамп, пуансон, матрица, покрытие, износостойкость, математическая модель, ls-dyna, конечно-элементная сетка, напряженно-деформированное состояние, нитрид титана, ресурсоёмкость.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ, проект № 18-48-730011

**MODELING OF DEFORMATION FRACTURE OF WEAR-
RESISTANT COATINGS OF PUNCHING TOOLS****Morozov O.I.¹, Tabakov V.P.², Kokorin V.N.³, Ilyushkin M.V.⁴***1 - Senior Lecturer of the Department of Materials Science and Metalworking of FSBEI HE UISTU;**2 - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head. Department of the Department of "Innovative technologies of mechanical engineering" FSBEI HE UISTU;**3 - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head. the Chair of the Department of Materials Science and Metalworking of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education UISTU**4 - candidate of technical sciences, Deputy Director of JSC "Ulyanovsk NIAT".*

Abstract. The effect of a wear-resistant coating applied to the working edge of a stamping tool in the deformation zone has been determined. In the Ansys LS-dyna software package, models of fracture and cracking of wear-resistant coatings under shock and shear deformations were built.

Keywords: stamp, punch, matrix, coating, wear resistance, mathematical model, ls-dyna, finite element mesh, stress-strain state, titanium nitride, resource intensity.

Одним из факторов, влияющих на износ рабочей поверхности штампового инструмента, является напряженно-деформированное состояние (НДС) инструментального материала в зоне деформации. В Ульяновском государственном техническом университете (УлГТУ) на кафедрах «Материаловедение и обработка металлов давлением» и «Инновационные

технологии в машиностроении» совместно с АО «Ульяновский НИАТ» и АО «Ульяновский патронный завод» проводятся исследования технологии повышения стойкости штампового инструмента с использованием износостойких ионно-плазменных покрытий [1-4].

Для изучения особенностей НДС широко применяется методика построения математических моделей с использованием программных средств, позволяющих производить анализ НДС в зоне контакта рабочих поверхностей инструмента и материала заготовки. С целью определения влияния износостойкого покрытия на основе нитрида титана на напряженно-деформированное состояние рабочей зоны инструмента были проведены исследования процесса вырубки с использованием метода конечных элементов, реализованного в ПО AnsysLS-Dyna [5-8].

Для моделирования материала износостойкого покрытия была построена конечно-элементная модель процесса определения микротвердости образца методом индентирования с использованием пирамиды Кнуппа, для задания материала покрытия была использована модель хрупкого материала Джонсона-Холмквиста.

При разрушении покрытий, трещины, возникающие в них, распространяются в направлении, перпендикулярном границе раздела «покрытие – инструментальная основа». Для таких трещин (трещины Палмквиста [14]) величину вязкости разрушения K_{Ic} можно определить по следующим формулам:

$$K_{Ic} = \sqrt{\frac{2H_y}{1-\nu^2}}, K_{Ic\pi} = \sqrt{\frac{2H_{ys}}{1-\nu^2}}, K_{Ic\pi} = 0,035\sigma\sqrt{c}\left(\frac{H}{\sigma}\right)^{0,4}\left(\frac{c}{\sigma}-1\right)^{-\frac{1}{2}},$$

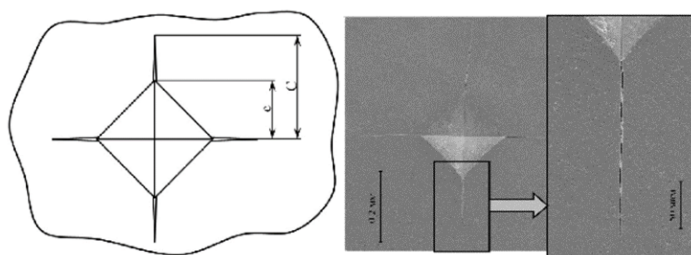


Рис. 1. Схема образования трещин Палмквиста при индентировании пирамидой Виккерса:

а – схема, б - фото отпечатка, полученного на покрытии TiAlN при индентировании пирамидой Виккерса при нагрузке 600Н

Другой важной механической характеристикой материала является модуль упругости первого рода E (модуль Юнга). Традиционные методики определения его величины (испытания на растяжение – сжатие, изгиб, кручение) в случае изучения тонких покрытий применить невозможно. В работе [1] для определения модуля упругости первого рода предложена методика, основанная на индентировании поверхности испытуемого материала пирамидой Кнуппа.

Зависимость между модулем упругости первого рода и размерами пирамиды Кнуппа и отпечатка микротвердости имеет вид:

$$\frac{b'}{d'} = \frac{b}{d} - \alpha \frac{H_K}{E},$$

где b и d – длины меньшей и большей диагоналей пирамиды Кнуппа, b' и d' – длины меньшей и большей диагоналей отпечатка; α – коэффициент ($\alpha = 0,45$); H_K – микротвердость по Кнуппу.

На рис. 2 показаны отпечаток пирамиды Кнуппа на поверхности покрытия TiN и расчетная схема для определения модуля упругости первого рода.

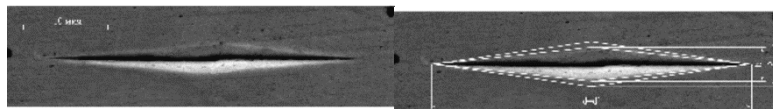


Рис. 2. Фотография отпечатка (а), полученного на покрытии TiN при индентировании пирамидой Кнуппа при нагрузке 2,55 Н и расчетная схема для определения величины модуля упругости первого рода E (б)

Модель Джонсона-Холмквиста [109] получила широкое распространение при математическом моделировании динамических свойств хрупких материалов, особенно при исследованиях ударного воздействия на керамику. Разработанная модель представлена на рисунках 3 и 4.

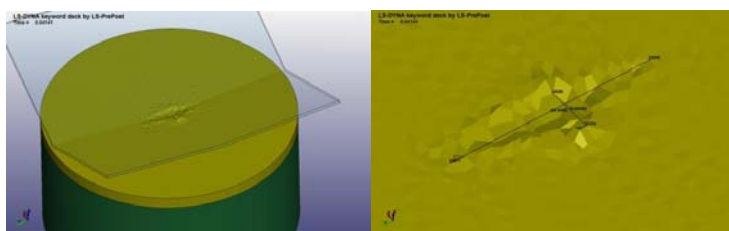


Рис. 3. Конечно-элементная модель процесса индентирования образца с износостойким покрытием TiN пирамидой Кнуппа

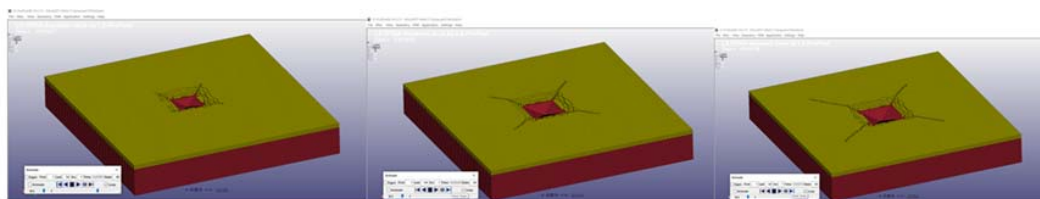


Рис. 4. Конечно-элементная модель процесса индентирования образца с износостойким покрытием пирамидой Виккерса

Сопоставительный анализ результатов моделирования и экспериментов позволяет сделать следующие выводы: отклонение параметров трещин s и S , полученных в результате моделирования, по сравнению с натурными экспериментами не превышает 10%; изменение параметров трещин s и S при изменении свойств покрытия, соответствующих составам покрытий TiN,

TiAlN, TiZrN соответствует данным экспериментов (длины трещин Палмквиста уменьшаются при переходе от покрытий TiN к TiAlN, TiZrN соответственно, отклонение от результатов натурного эксперимента составляет менее 5 %).

Использование математических моделей разрушения износостойких покрытий под воздействием деформационных нагрузок позволит прогнозировать характер и интенсивность износа покрытий на основе нитрида титан в зависимости от архитектуры и состава покрытия. При этом, возникает возможность варьирования схемами нагружения, замены их на более «мягкие», что, в свою очередь, позволит снизить уровень растягивающих напряжений в поверхностном слое инструмента, увеличивая адгезионную способность, а, следовательно, и износостойкость покрытия.

Библиографический список

1. Табаков, В. П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 2008. – 311 с.; ил.
2. Табаков В.П., Чихранов А.В., Определение механических характеристик износостойких ионно-плазменных покрытий на основе нитрида титана, Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2010, т.12, №4, С. 292-297
3. Морозов О.И., Табаков В.П., Кокорин В.Н., Титов Ю.А. Повышение стойкости рабочих поверхностей деталей штампов и пресс-форм из теплостойких сталей / Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 11: в 3 ч. Ч1.Тула:Изд-во ТулГУ, 2017. 64-68 с.
4. Морозов О.И., Кокорин В.Н., Табаков В.П., Сагитов Д.И., Илюшкин М.В., Ширманов Н.А., Исследование процесса комплексной модификации поверхностного слоя рабочих деталей штампов и пресс-форм, работающих в условиях повышенного износа / Научные труды 4-ой Международной

научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ РАН, «Живучесть и конструкционное материаловедение» (ЖивКоМ–2018). – М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований. – 2018. – 298 с.

5. Чернявский, А. О. Метод конечных элементов. Основы практического применения: монография / А.О. Чернявский. - М. : Машиностроение, 2003 – 24 с., ил.

6. Ansys в руках инженера: Практическое руководство. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

7. Ansys для инженеров: Справочное пособие / Чигарёв А.В., Кравчук, А.С., Смалюк А.Ф. - М. : Машиностроение, 2004. - 512с.

8. Курненко А.В. Численное моделирование процессов резанию: учеб. Пособие. Часть 1 / А.В. Курненко, А.Ю. Шурыгин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2017. – 184 с.

9. LS-DYNA analysis for structural mechanics. Predictive engineering. 2014, - 115 с. LSTC Livermore Software Technology Corp.

10. Криворучко Д.В. Основы 3D-моделирования процессов механической обработки методом конечных элементов: учебное пособие/ Д.В. Криворучко, В.О. Залого, В.Г. Корбач.- Сумы: Изд-во СумДУ, 2009. – 208 с.

11. Илюшкин М.В. Моделирование процессов обработки металлов давлением (осадка цилиндрической заготовки): учебно-методическое пособие / М.В. Илюшкин. – Ульяновск: УлГУ, 2013. – 112 с.

12. G. Maresca, P. P. Milella, G. Pino. A Critical review of triaxiality based failure criteria. – ANPA - Via V. Brancati, Roma. 1997.

13. Input parameters for metal forming simulation using LS-DYNA. Bradley N. Maker, Xinhai Zhu, LSTC, 2000.

УДК: 621.771.63

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ШИРИНЫ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕССЕ ФОРМОВКИ КОРЫТНОГО ПРОФИЛЯ НА ПРОФИЛЕГИБОЧНОМ СТАНЕ

Поворов С.В.¹, Меремьянин А.В.²*1 – к.т.н., доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки» МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва.**2 – инженер НИКИЭТ им. Н. А. Доллежалея.*

Аннотация. В статье рассмотрено изменение ширины листовой заготовки в процессе формовки корытного профиля на профилегибочном стане. Проведён анализ влияния изменения ширины на точность размеров получаемого профиля.

Ключевые слова: гнутый профиль проката, профилегибка, профилегибочный стан, проектирование калибровок.

RESEARCH OF CHANGES WIDTH OF METALL BLANK THROUGHOUT OF ROLLING ROLL-FORMED HAT SECTION ON THE ROLL FORMING MILL

Povorov S.V.¹, Meremyanin A.V.²*1 – candidate of technical sciences, docent of the department «Equipment and rolling technologies» Bauman MSTU.**2 – engineer JSC NIKIET*

Abstract. The article presents the change in the width of the flat blank in the process of forming the roll-formed hat section on the roll forming mill. The influence of the width change on the accuracy of the resulting profile dimensions is analyzed.

Keywords: roll-formed section, roll forming, roll forming mill, roll design.

Корытный профиль, показанный на рис. 1, который так же называют Ω -профиль, изготавливают на профилегибочных станах из листового проката. Проектирование формирующих роликов профилегибочного стана начинается с вычерчивания поперечных сечений заготовки в осевых плоскостях клеток. При определении размеров поперечных сечений используют гипотезу о не растяжимости профильной линии, т.е. считают, что растяжение или сжатие этой линии, расположенной посередине толщины контура сечения, являются пренебрежимо малыми [1, 2]. Из этого следует, что полную ширину этой линии можно считать постоянной и равной ширине исходной заготовки. Однако в действительности во время формовки заготовки она подвергается пластическим деформациям в результате которых меняется не только поперечное сечение заготовки, но и её ширина.

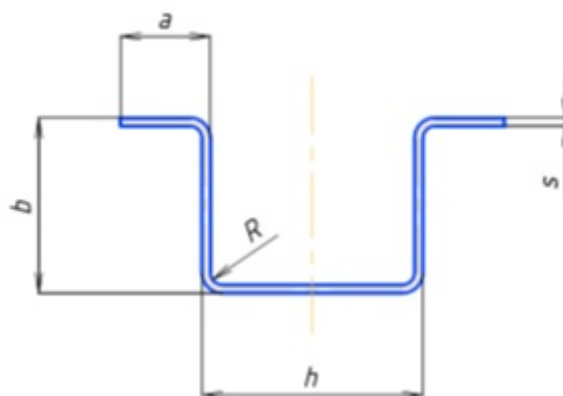


Рис. 1. Чертёж корытного профиля

В данной работе проведено количественное исследование изменения ширины заготовки при формовке корытного профиля.

Размеры поперечного сечения корытного профиля, а также допуски на отклонения этих размеров устанавливаются ГОСТ 8283-93 [3]. Для исследования был выбран профиль с высотой стенки h равной 54 мм, шириной профиля b 43 мм, шириной полки a 22 мм, внутренним радиусом сопряжения R 3 мм и толщиной s 2 мм. Формообразование профиля от исходной плоской заготовки до требуемой формы поперечного сечения происходило за четыре перехода. При этом увеличение угла подгибки на каждом переходе одинаково и равно 22.5° . Поперечные сечения заготовки на каждом переходе показаны на рис. 2.

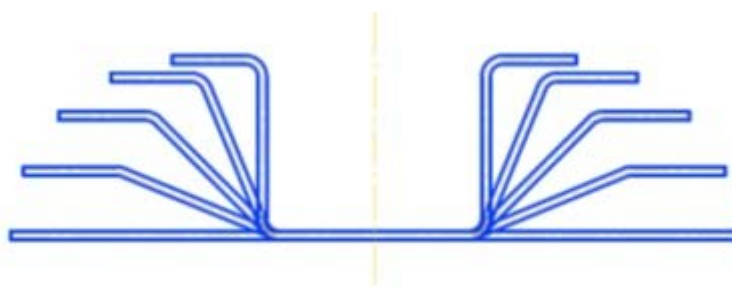


Рис. 2. Поперечные сечения заготовки в осевых плоскостях клеток
профилегибочного стана

Калибровка формующих роликов имеет конструкцию открытого типа, что означает, что торцевых поджатий на левой и правой кромках заготовки инструмент создавать не будет.

Для проведения исследования использовалось математическое моделирование с помощью программы LS-Dyna, которая, как показал предыдущий опыт её применения [4, 5], позволяет моделировать поведение листовой заготовки в процессе профилегибки с точностью подходящей для практического применения в данной отрасли. На рис. 3 показан внешний вид расчётной сетки, которая была сгенерирована с помощью программы ProfillQ [6]. Для описания поведения заготовки при составлении математической модели использовалась билинейная модель упругопластического материала с механическими характеристиками, соответствующими стали 08ПС.

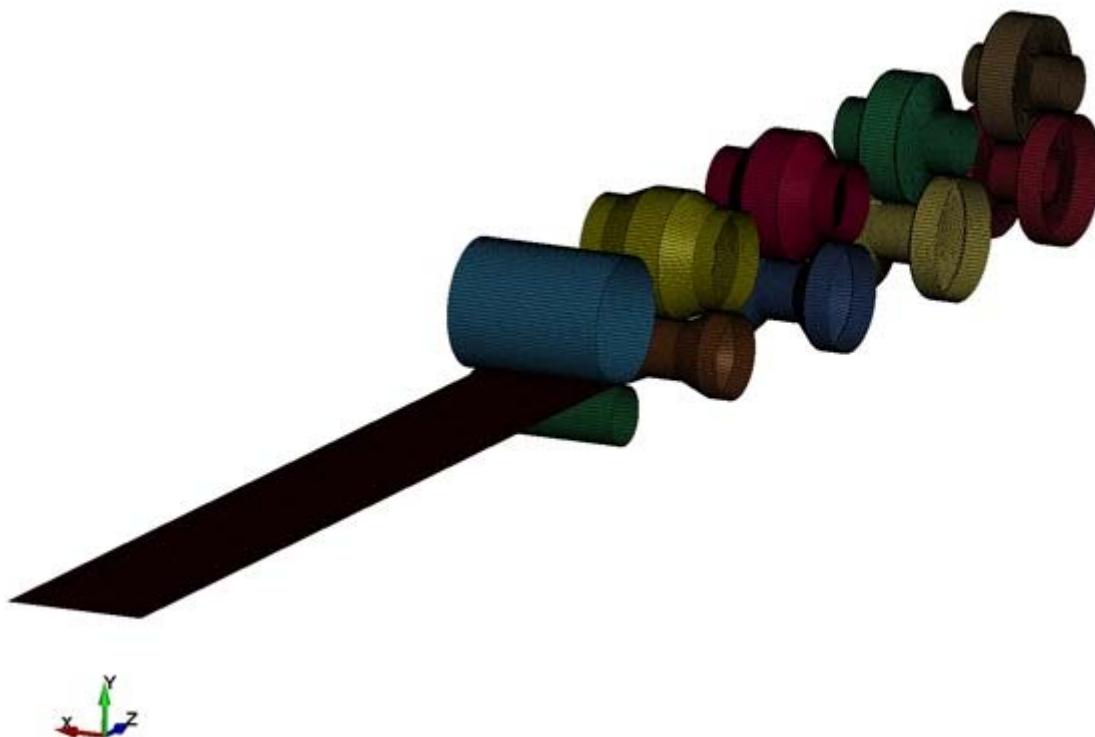


Рис. 3. Внешний вид расчётной сетки в исходный момент времени

Так как деформации формующих роликов пренебрежимо малы, то для них использовалась модель абсолютно жёсткого материала, и расчётная сетка

была создана только на рабочих поверхностях роликов. В данной модели, как и в традиционных профилегибочных станах, приводом обеспечены нижние ролики, а верхние – холостые и могут свободно вращаться под действием заготовки.

В результате решения математической модели было получено деформированное состояние заготовки после прохождения всех этапов профилирования. Затем было выбрано поперечное сечение, находящееся посередине длины заготовки, которое образовано набором узлов расчётной сетки и по изменению расстояний между узлами сетки было определено удлинение каждого элемента профильной линии. Что бы удобнее было различать элементы, была проведена их нумерация, она показана на рис. 4.

Измерение расстояний между узлами сетки проводилось по мере прохождения заготовки через профилегибочный стан, поэтому удалось отследить и построить графики того, как изменялось удлинение по мере продвижения заготовки.

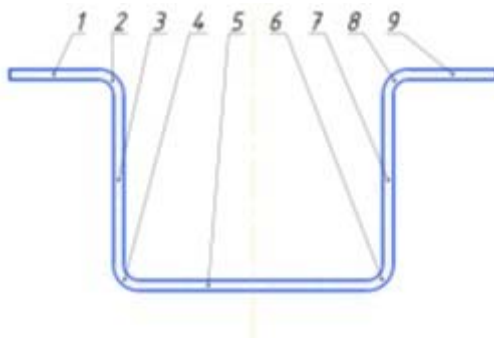


Рис. 4. Нумерация элементов профильной линии

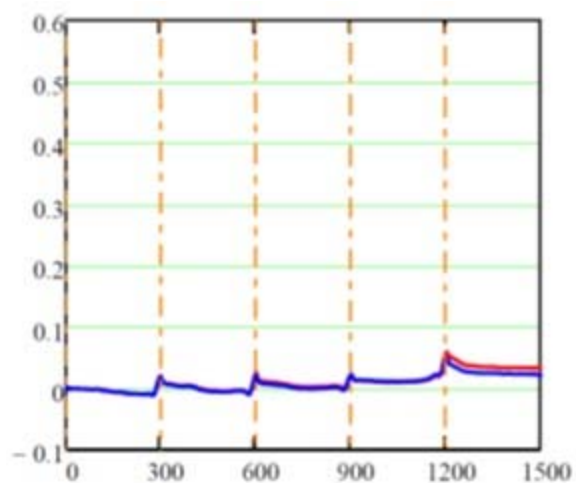
Эти графики показаны на рис. 5. На этих рисунках графики сгруппированы попарно для симметричных элементов профильной линии. Благодаря такой группировке хорошо видна небольшая разница удлинений между симметричными элементами. Все графики построены в одинаковом масштабе, что бы можно было наглядно сравнивать удлинения разных элементов профильной линии. Вертикальными штрихпунктирными линиями

на графиках обозначены осевые плоскости клеток. Как можно видеть, межклетьевое расстояние равно 300 мм. Следует отметить, что изменение ширины элементов профильной линии заготовки происходит вблизи осевых плоскостей, в то время как между клетями она остаётся постоянной или изменяется незначительно. Из графиков видно, что удлинения крайних элементов, с номерами 1 и 9, находящихся у левой и правой кромок заготовки, значительно меньше по сравнению с другими элементами профильной линии и не превышает 0.05 мм. Для остальных элементов величина абсолютного удлинения примерно одинакова и находится в диапазоне примерно между 0.4 и 0.5 мм. При этом длина радиусных элементов профильной линии в разы меньше длин прямолинейных элементов, в результате чего относительное удлинение радиусных элементов будет значительно выше и это будет показано далее.

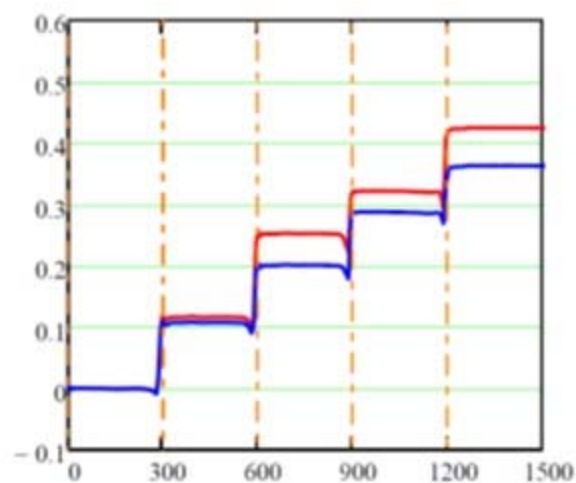
Измеренные значения удлинений элементов профильной линии приведены в таблице 1. Так же в этой таблице рассчитаны значения деформации каждого элемента относительно его исходной длины. Как можно видеть, удлинение радиусных элементов лежит в диапазоне от 5.81% до 8%, а прямолинейных элементов от 0.1% до 1.57%.

Таблица 1

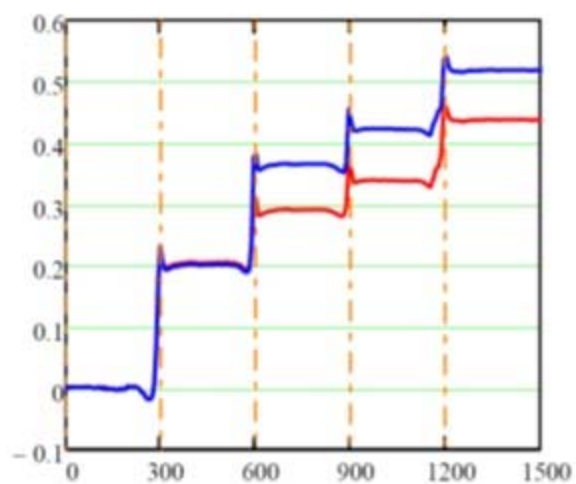
	№ элемента профильной линии								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина, мм	17	6,283	33	6,283	44	6,283	33	6,283	17
Удлинение, мм	0.025	0.426	0.438	0.447	0.374	0.503	0.518	0.365	0.017
Деформация, %	0.15	6.79	1.33	7.11	0.85	8	1.57	5.81	0.1



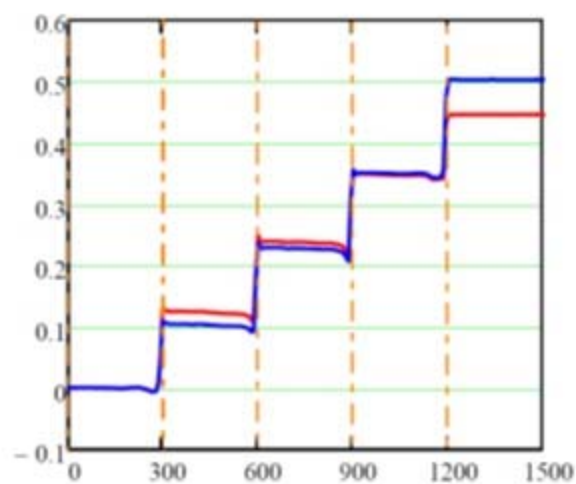
элементы № 1, 9



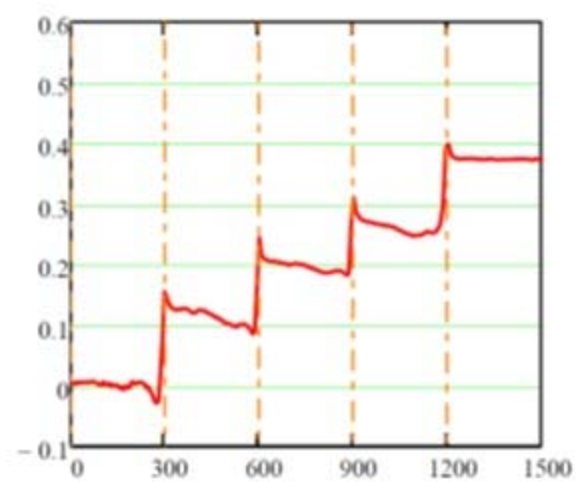
элементы № 2, 8



элементы № 3, 7



элементы № 4, 6



элемент № 5

Рис. 5. Удлинение элементов профильной линии по мере прохождения формирующих роликов

Для более наглядного представления удлинений построены две диаграммы, показанные на рис. 6. Из рис. 6 б хорошо видна разница между относительными удлинениями прямых и радиусных элементов профильной линии, о чём было написано ранее.

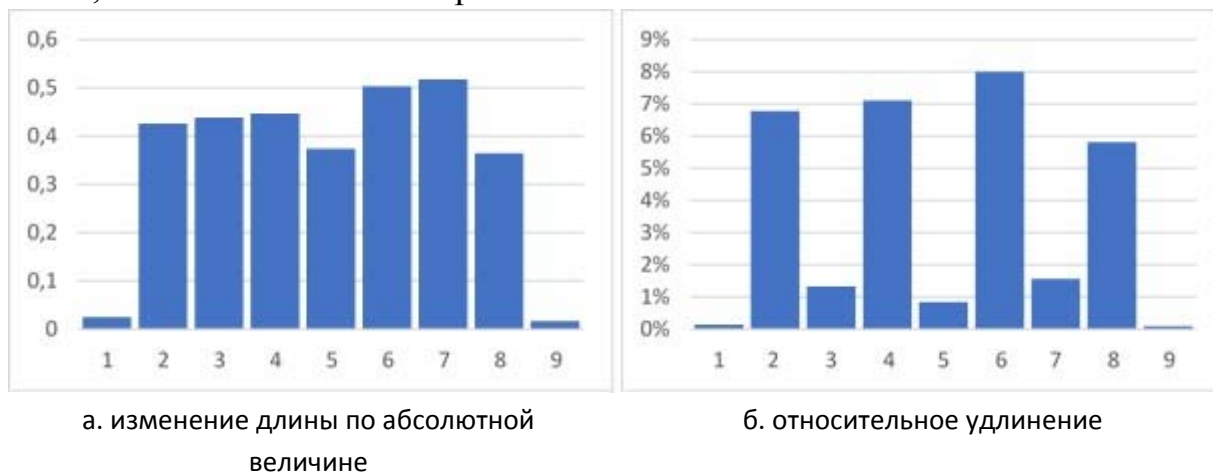


Рис. 6. Диаграммы изменения длины элементов профильной линии

ГОСТ 13229-78 предусматривает допустимые предельные отклонения размеров профиля. Допуски размеров предусмотрены для высоты стенки h , ширины профиля b и ширины полки a . При этом допуски разделяются на три категории: высокая, повышенная и обычная. Помимо категории значения величин допусков зависят от размеров профиля и в таблице 2 выписаны значения допусков, для размеров, которые были использованы в данном исследовании.

Таблица 2

	Отклонения размеров			
	Предельные допустимые. Точность:			Расчётные
	высокая	повышенная	обычная	
Высота стенки h	$\pm 1,00$	$\pm 1,75$	$\pm 1,75$	+0,37
Ширина профиля b	$\pm 0,75$	$\pm 1,25$	$\pm 1,25$	+0,52
Ширина полки a	$\pm 0,75$	$\pm 1,50$	$\pm 2,50$	+0,03

Из данных, приведённых в таблице 2 видно, что для каждого из размеров профиля расчётные значения отклонений меньше, чем допустимое предельное отклонение по допуску высокой точности. Так же следует отметить, что полное удлинение профильной линии составило 3.11 мм, что на полной ширине заготовке составляет удлинение 1.84%.

Выводы.

1. Проведённое исследование показало, что при формовке корытного профиля на профилегибочном стане происходит удлинение как прямолинейных, так и радиусных элементов поперечного сечения.
2. В результате проведённого исследования были определены расчётные значения отклонений размеров поперечного сечения, для выбранного типоразмера профиля, и было показано, что расчётные отклонения меньше предельно допустимых отклонений по высокому классу точности, предъявляемому к этим профилям ГОСТ 13299-78.
3. Поскольку отклонения размеров профиля в результате удлинения профильной линии в процессе формовки не превышают допустимых значений, то гипотеза о нерастяжимости профильной линии, принятая при расчёте размеров поперечных сечений заготовки, может считаться допустимой при выполнении практических расчётов аналогичных типоразмеров гнутых профилей.

Библиографический список

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

2. Способ расчета размеров поперечного сечения листовой заготовки в промежуточных переходах при осуществлении процесса формовки в роликах Поворов С.В. Калибровочное бюро. 2018. № 12. С. 41-50.
3. Профили стальные гнутые зетовые. Сортамент. ГОСТ 13229-78.
4. Исследование процесса формовки детали в виде швеллера путем экспериментального исследования и математического моделирования. Поворов С.В., Егоров Д.В. Заготовительные производства в машиностроении. 2018. Т. 16. № 5. С. 225-228.
5. Производство специального профиля из листовой заготовки методом формовки в роликах для изготовления теплообменных панелей. Поворов С.В., Егоров Д.В., Волгин Д.С. Заготовительные производства в машиностроении. 2019. Т. 17. № 12. С. 557-561.
6. Система автоматизированного проектирования поперечных сечений листовой заготовки в процессе формовки в роликах и подготовки модели для расчета в программе LS-Dyna. Поворов С.В. В сборнике: Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России. Материалы V Международной научно-производственной конференции, приуроченной ко Дню Российской науки. Ульяновск, 2020. С. 87-99.

УДК 621.983: 621.791

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СВАРНЫХ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК**Почекуев Е.Н.¹, Шенбергер П.Н.², Кандырин И.С.³**

1 – к.т.н., доцент кафедры «Сварка обработка металлов давлением и родственных процессов» ТГУ, г. Тольятти.

2 – к.т.н., доцент кафедры «Сварка обработка металлов давлением и родственных процессов» ТГУ, г. Тольятти.

3 – магистр 2 года кафедры «Сварка обработка металлов давлением и родственных процессов» ТГУ, г. Тольятти.

Аннотация. В статье представлены результаты численного моделирования деформирования сварных листовых заготовок внутренней панели двери автомобиля и экспериментов растяжения сварных образцов по ГОСТ 6996-66.

Ключевые слова: сварные листовые заготовки, неоднородность, моделирование, деформации

SIMULATION OF TAILOR WELDED BLANKS DEFORMATION**Pochekuev E.N.¹, Shenberger P.N.², Kandyrin I.S.³**

1 - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Welding, metal forming by pressure and related processes" TSU, Togliatti

2 - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Welding, metal forming by pressure and related processes" TSU, Togliatti

3 - Master of 2 years of the Department "Welding, metal forming by pressure and related processes" TSU, Togliatti.

Abstract. The article presents the results of numerical modeling of the deformation of welded sheet blanks of the inner panel of a car door and welded samples in accordance with GOST 6996-66.

Key words: welded sheet blanks, heterogeneity, modeling, deformations

Сварная листовая заготовка (СЛЗ) применяется в основном для производства внутренних кузовных деталей. Эти детали изготовлены из двух или более сваренных заготовок (рис. 1).



Рис.1 Изделия кузова автомобиля из сварных листовых заготовок

Применение деталей из СЛЗ дает ряд преимуществ, таких как меньший вес изделий, уменьшение количества применяемых деталей в автомобиле, облегчение процесса сборки, а также сокращение затрат за счет использования СЛЗ, вместо нескольких обычных заготовок, для которых требуются индивидуальные операции.

Применение сварных листовых заготовок имеет некоторые особенности по сравнению с обычными заготовками. В результате процесса сварки меняется структура материала, металл заготовки становится неоднородным, в зоне шва после сварки появляются термические остаточные напряжения. В околошовной зоне и в зоне шва при растяжении деформация неоднородна.

Для моделирования деформирования образца со сварным швом была разработана конечно- элементная модель, которая учитывала неоднородные свойства материала в основном материале (зеленый цвет), в околошовной зоне (желтый цвет) и в сварном шве (серый цвет) (рис. 2).

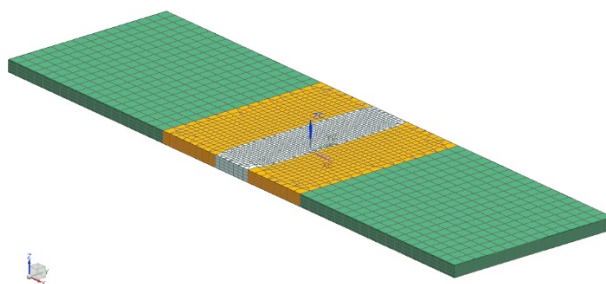
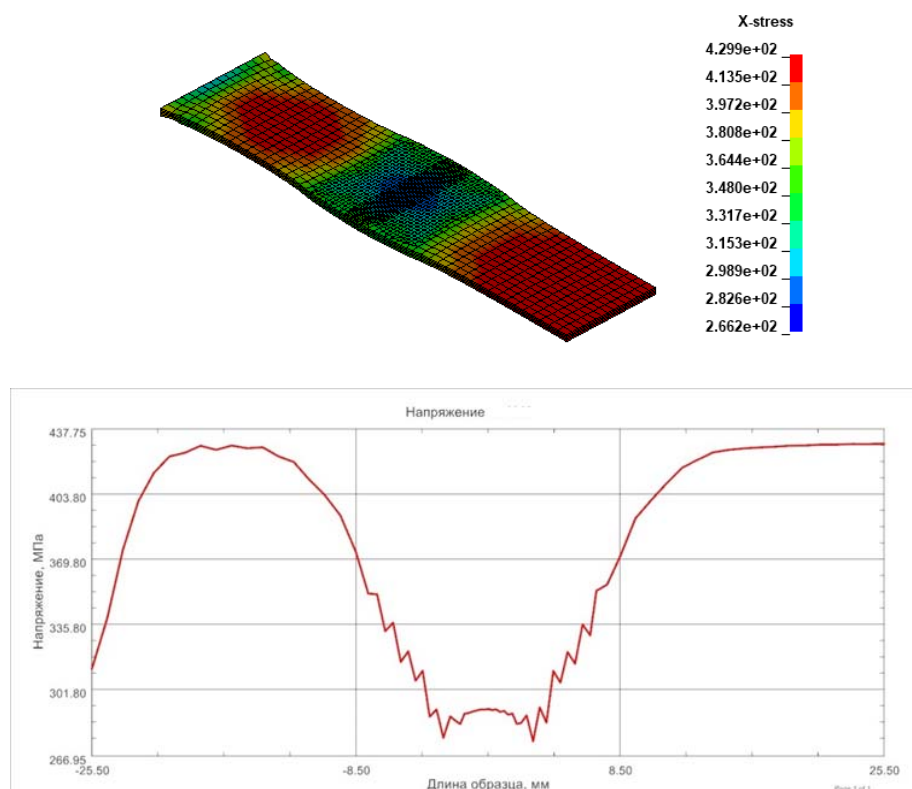
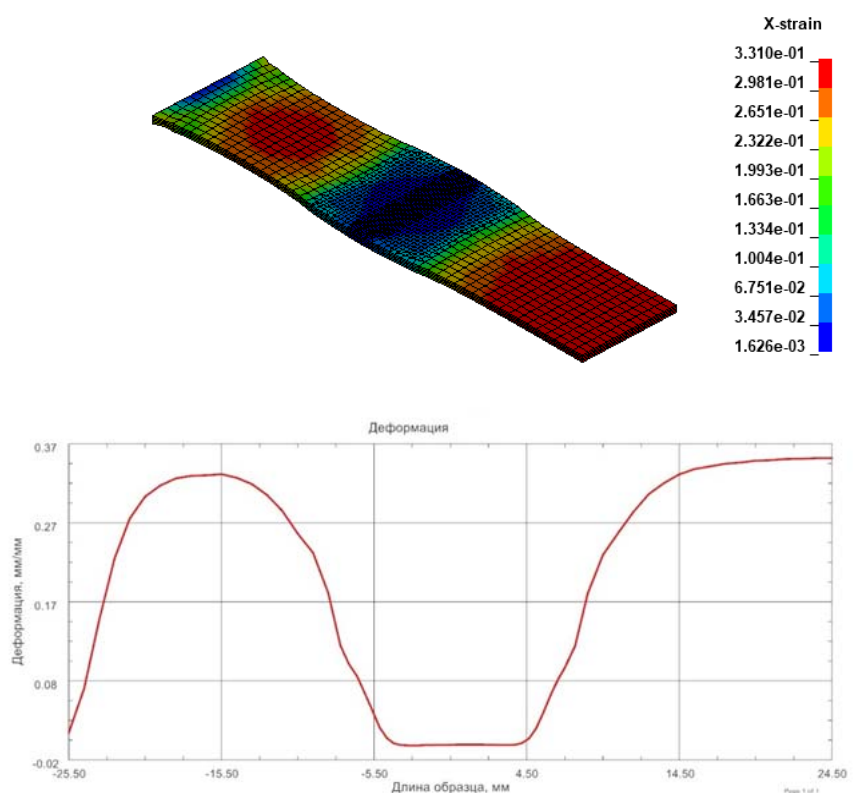


Рис. 2. Конечно-элементная модель.

После проведения расчетов в LS-DYNA были получены поля напряжений (рис.3) и поля деформаций (рис. 4).

Рис. 3. Поле напряжений σ_{xx} Рис. 4. Поле деформаций ϵ_{xx}

Анализ распределения деформаций вдоль оси образца (рис.4) показывает, что в случае повышения предела текучести и тангенциального

модуля упрочнения на 10% в зоне сварного шва для заготовки из Стали 30 величина пластической деформации сварного шва мала и не превышает 1...2 %.

Экспериментальные исследования деформирования листовых сварных образцов из материала Сталь 30 ГОСТ 16523-97 производилось в соответствии с ГОСТ 6996-66 на испытательной машине WAW-1000D. Для образцов со сварным швом в момент разрушения относительная деформация удлинения в зоне шва изменяется от 2 до 10%, а деформация вне сварного шва и зоны термического влияния может достигать 30% (рис. 5).

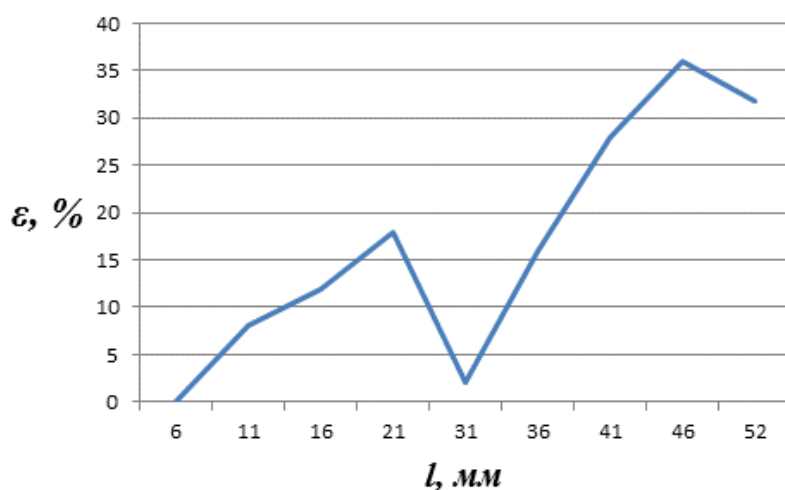


Рис.5. Экспериментальные значения локальных деформаций вдоль оси образца

Библиографический список

1. Бернадский, В.Н. Тонколистовые сварные составные заготовки — «Tailored Blanks» в автомобилестроении // Сварочное производство, 2001, №6, - с.15-30
2. Glasbrenner, B. Tiefziehen von Tailored Blanks mit nichtlinearen Schweißnähten, Neuere Entwicklungen in der Blechumformung [Text] / B. Glasbrenner // Institut für Umformtechnik (IFU) in Stuttgart. – 2000.

3. Хайруллин Т.В., Столбов В.И. Применение листовых сварных заготовок для штамповки деталей в аэрокосмической и автомобильной промышленности //Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета), 2011, №3-2(27),- с. 20-27.

Секция 3

«Подготовка производства»

УДК 620.178.3:620.194.8

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**Галкин В.В.¹, Пачурин В.Г.², Баженов Е.А.¹**

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

2 – специалист ОАО «Автомобильный завод «ГАЗ», Н.Новгород.

1 – магистр каф. «Материаловедение, технологии материалов и термическая обработка металлов» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н.Новгород.

Аннотация. В статье представлены результаты исследования деформированного состояния и изменения механических характеристик сплава ЭИ 878 в зоне синусоидальных рифтов листовой панели, изготовленной на листоштамповочном молоте в свинцово-цинковом штампе и гидравлическом прессе эластичным пуансоном на форм-блоке. Дана оценка утонению материала и упрочнению сплава ЭИ 878 в зоне рифтов в примененных технологиях формовки.

Ключевые слова: листовая гофрированная панель, распределение деформированного состояния металла, конструктивный рельеф панели - рифт.

DEFORMATION ANALYSIS AND EVALUATION OF THE HARDENING OF THE STEEL 12X17Г9АН4 IN THE MANUFACTURE OF SHEET PANELS WITH A SINUSOIDAL RIFT ON A HAMMER IN A RIGID DIE AND PRESS USING AN ELASTIC MEDIUM**Galkin V.V.¹, Pachurin G.V.¹, Bazhenov E.O.¹**

1 – PhD, associate professor of the Department "Machine-building Technological Complexes", Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (NNSTU).

2 – Specialist of JSC automobile plant "GAZ", Nizhny Novgorod.

3 – Master's student of the Department "Materials Science, Materials Technology and Heat Treatment of Metals", Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev (NNSTU).

Abstract. The article presents the results of a study of the deformed state and changes in the mechanical characteristics of the EI878 alloy in the zone of sinusoidal rifts of a sheet panel made on a sheet-stamping hammer in a lead-zinc die and a hydraulic press with an elastic punch on a form block. The assessment of the thinning of the material and the hardening of the EI878 alloy in the rift zone in the applied molding technologies is given.

Keywords: corrugated sheet panel, distribution of the deformed state of the metal, structural relief of the rift panel.

Листовые панели широко применяются в различных изделиях машиностроения: автомобилях, судах, летательных аппаратах. Основным конструктивным элементом панели является рельеф в виде рифта, который в поперечном сечении может иметь различный профиль: треугольный,

трапецеидальный, прямоугольный, синусоидальный и другой. Эксплуатационные характеристики изделия зависят от механических характеристик применяемого материала и их изменений в процессе штамповки изделия.

Наиболее приемлемыми материалами для изготовления гофрированных листовых панелей летательных аппаратов, с точки зрения эксплуатационных характеристик, являются высокопрочные конструкционные коррозионно-стойкие нержавеющие сплавы типа Х15Н5Д2Т. В последнее время широкое применение получила сталь аустенитного класса 12Х17Г9АН4 (в дальнейшем по тексту – материал), которая по сравнению с приведенными сплавами, имеет меньшие прочностные характеристики, а с другой стороны – более высокие показатели пластичности. Ее химический состав приведен в табл. 1, а механические характеристики в табл. 2.

Таблица 1.

Химический состав стали 12Х17Г9АН4

Материал	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

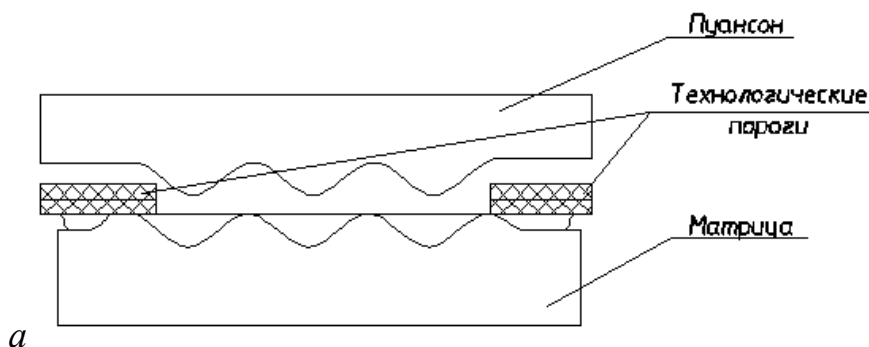
Материал	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
12Х17Г9АН4	800	515	42	54

Основной операцией получения местных углублений и выпуклостей в виде рифтов в листовых заготовках является формовка, в которой формообразование осуществляется за счет утонения материала. Технологический опыт изготовления листовых гофрированных панелей позволяет выделить основные виды технологических процессов. К первому

виду относится штамповка на листоштамповочных молотах в металлических свинцово-цинковых штампах, от которой листоштамповочное производство до настоящего времени не отказывается. Второй процесс осуществляется на гидравлических специализированных прессах эластичной, в частности, полиуретановой средой в контейнере на жесткой матрице (форм-блоке).

При штамповке на листоштамповочном молоте рифты получают постепенно за несколько переходов, при этом верхний инструмент своими гребнями концентрированно воздействует на заготовку, лежащую на нижнем инструменте (рис. 1 а). С целью предотвращения возникновения складок в формируемой заготовке на нижнем инструменте по его периметру выполняются технологические пороги, на которые стопкой укладываются технологические прокладки. Это обеспечивает защемление заготовки по ее периметру, при этом на каждом последующем переходе убирается очередная прокладка.

При штамповке на гидравлическом прессе (рис. 1 б) по ходу процесса происходит защемление заготовки эластичной средой, как по гребням матрицы, так и по ее периметру. Штамповка ведется за одну операцию с постепенным увеличением давления эластичной среды в контейнере, что обеспечивает возможность подтяжки заготовки в зону формовки.



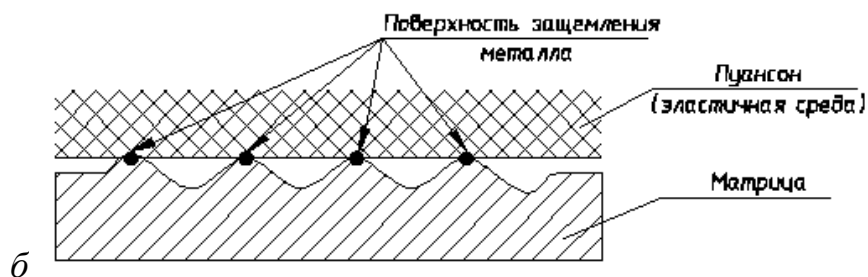
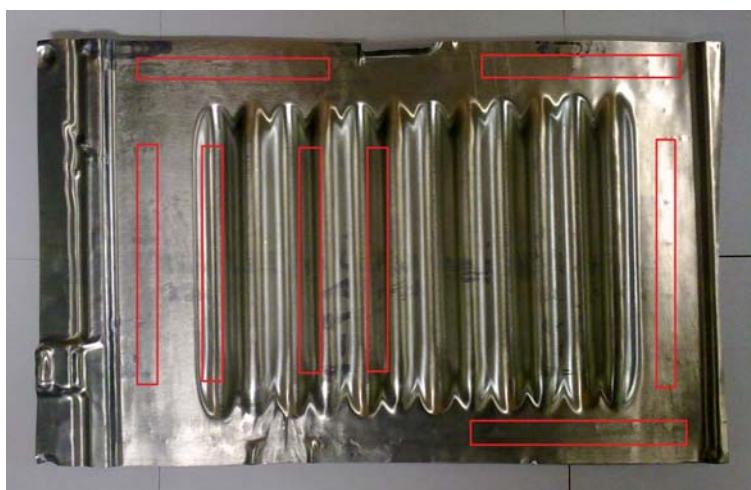


Рис. 1. Схема штамповки гофрированных панелей: *а* – молот; *б* – пресс

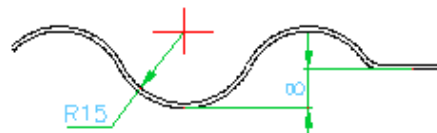
Описанные процессы штамповки, кроме механической схемы деформации, также отличаются температурно-скоростными условиями обработки, влияющими на изменение механических свойств материала.

На основании выше изложенного можно сделать заключение об актуальности определения деформированного состояния и изменения механических свойств материала в зоне рифта гофрированной панели, штампуемой на молоте и прессе, что и явилось целью данной работы.

В качестве объекта исследования была выбрана гофрированная панель, размерами 500×320 мм в плане, имеющая параллельные рифты с синусоидальным профилем в поперечном сечении (рис. 2).



а



б

Рис.2 Гофрированная панель: *а* - места вырезки образцов; *б* - форма и размеры поперечного сечения рифта

Изделие изготавливалось из листовых заготовок толщиной 0,8 мм по двум вариантам: с нагревом на молоте в металлическом штампе за несколько операций и без нагрева на прессе на форм-блоке в контейнере эластичной средой за одну операцию.

Механические испытания включили испытания на статическую прочность (ГОСТ 1497) материала в зоне рифтов: по вершинам, боковым поверхностям и впадинам (рис.2), обозначение которых приведено в табл. 1.

Табл. 1. Расположение зон вырезки образцов для -механических испытаний

Зона вырезки образца	Пресс	Молот
Боковая поверхность рифта	1a1, 1a2, 1a3	1б1, 1б2, 1б3
Впадина рифта	2a1, 2a2, 2a3	2б1, 2б2, 2б3
Вершина рифта	3a1, 3a2, 3a3	3б1, 3б2, 3б3

По результатам испытаний были определены механические характеристики материала в зоне рифтов панелей (табл. 2).

Табл.2. Механические характеристики стали 12Х17Г9АН4 в зоне рифтов

	№ образца	Толщина, мм	Ширина, мм	Площадь, мм ²	Нагрузка, Н	Предел прочности σ _{0,2} , МПа	относительное удлинение σ _{0,2} , %	Предел текучести σ _{0,2} , МПа
Образцы после деформации на гидравлическом прессе	1a1	0,78	10,6	8,26	6400	775	53	470
	1a2	0,78	10,5	8,19	6300	770	50	480
	1a3	0,78	10,5	8,19	6400	780	53	500
	2a1	0,67	12,5	8,37	8100	970	27	880
	2a2	0,69	12,5	8,62	7950	920	33	820
	2a3	0,70	12,0	8,40	7500	890	33	800
	3a1	0,71	12,7	9,01	7300	810	40	680
	3a2	0,70	12,7	8,89	8000	900	31	710
	3a3	0,72	12,6	9,07	7760	855	40	720

Образцы после деформации на молоте	161	0,78	10,5	8,19	5600	805	37	560
	162	0,78	10,6	8,26	6400	775	40	540
	163	0,78	10,5	8,19	6500	790	27	550
	261	0,75	12,8	9,60	6600	-	-	-
	262	0,73	12,7	9,27	7650	825	30	650
	263	0,71	12,3	8,73	7450	850	43	680
	361	0,75	12,3	9,22	7550	820	43	600
	362	0,71	12,3	8,73	7450	850	43	660
	363	0,75	12,2	9,15	7500	820	50	600

Результаты механических испытаний определили картину распределения механических свойств в исследуемых зонах детали. При штамповке на прессе материал упрочнился до требуемого значения $\sigma_b = 900$ МПа. При этом наибольшее значение 970 МПа соответствует зоне впадины рифта. При штамповке на молоте предел прочности повышается только до 850 МПа и также соответствует зоне впадины рифта. Очевидно, что причиной повышения прочностных характеристик является деформационное упрочнение металла, которое при одно операционной холодной штамповке на прессе имеет большее значение, чем при многооперационной штамповке на молоте с нагревом.

Расчет компонентов деформированного состояния проводился по методу сеток, согласно которого на исходную заготовку толщиной s_0 наносилась с помощью рисок делительная сетка с квадратной ячейкой (рис.2) [1]. Для исследования деформированного состояния в рифтах панели было взято 26 точек (ячеек) по поперечному сечению.



Рис. 3. Штампованная панель с обозначением зон замеров деформации

Замеры размеров сетки после деформации производились на тонкой промежуточной ленте (тип скотча) через замеры отпечатков на микроскопе. Предварительно, для получения отпечатка, на поверхность рифтов наносилась графитовая смазка.

Главные компоненты определялись по формулам [2]

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{a}{d_0}; \quad \varepsilon_2 = \ln \frac{b}{d_0}; \quad \varepsilon_3 = -(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = \ln \frac{ab}{d_0^2} \quad (1)$$

где d_0 - диаметр квадратной ячейки до деформации; a и b - размеры главных осей эллипса, вписанного в деформированную ячейку в виде параллелограмма.

Интенсивность ε_i и толщина материала s после деформации определялись по выражениям [2]

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2)^2}; \quad s = \frac{s_0}{(1+\varepsilon_1)(1+\varepsilon_2)} \quad (2)$$

По рассчитанным значениям построены зависимости изменения интенсивности деформации ε_i и толщины материала s в поперечных

сечениях рифтов панелей, штампованных на молоте и на прессе. В качестве сравнения на рис. 4,5 и рис. 6,7 приведены данные изменения интенсивности деформации ϵ_i и толщины материала s в поперечном сечении рифта №3 панелей, штампованных на молоте и прессе.

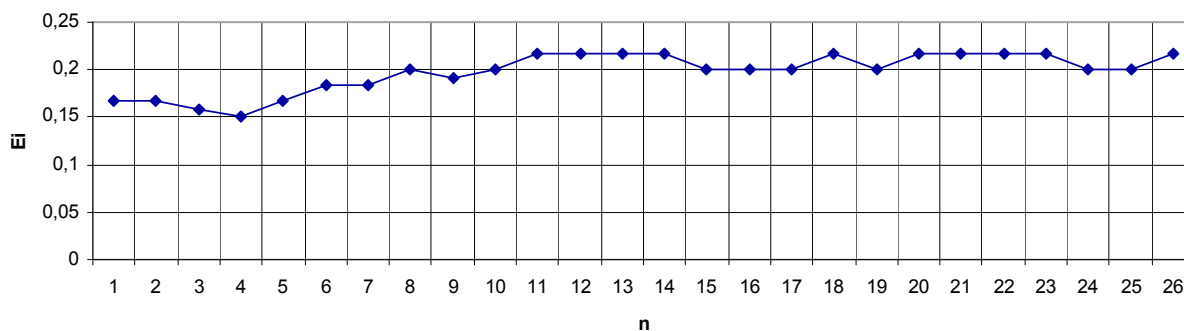


Рис. 4. Изменения интенсивности деформации материала ϵ_i в поперечном сечении рифта № 3 панели, штампованной на молоте

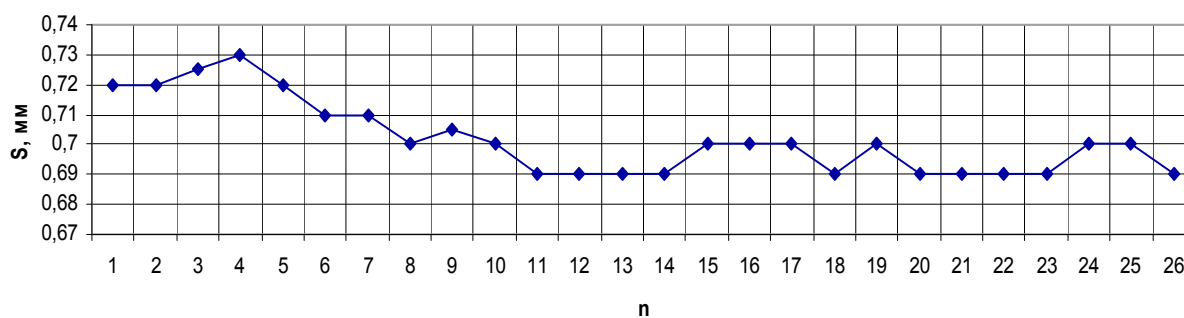


Рис. 5. Изменения толщины материала s в поперечном сечении рифта № 3 панели, штампованной на молоте

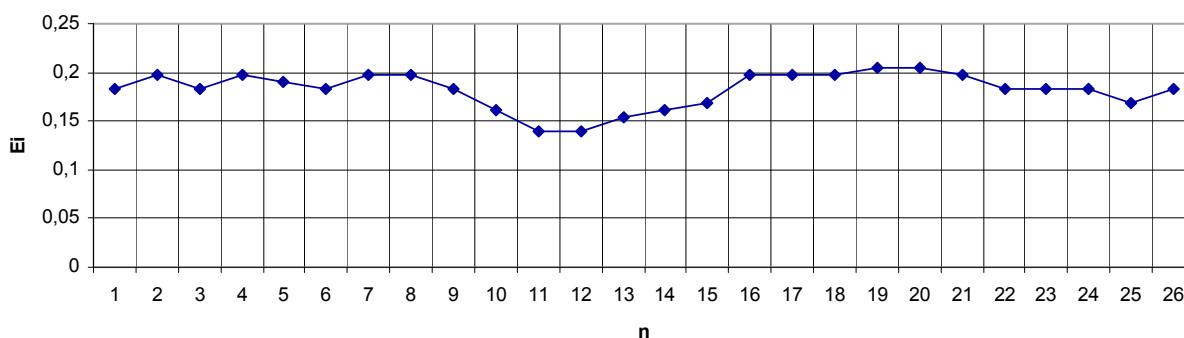


Рис.6. Изменения интенсивности деформации материала ϵ_i в поперечном сечении рифта №3 панели, штампованной на прессе

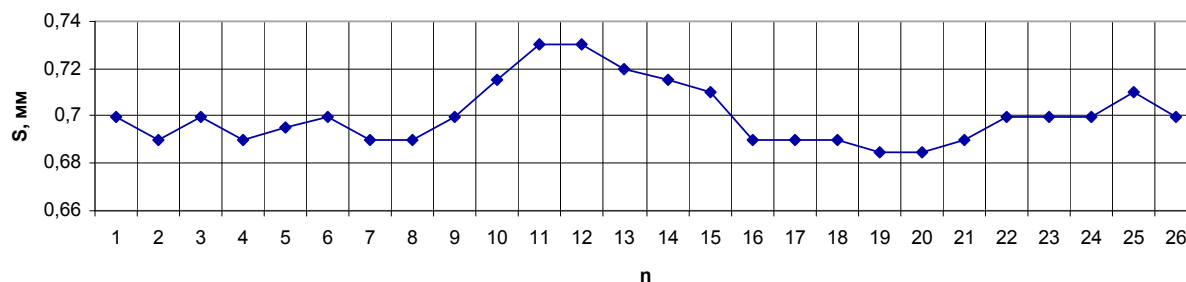


Рис. 7. Изменения толщины материала s в поперечном сечении рифта № 3 панели, штампованной на прессе

Полученные результаты деформированного состояния листового материала в зоне рифтов панелей свидетельствуют о неравномерности распределения деформации по толщине заготовки в поперечном сечении рифта при: штамповке по обеим технологиям на прессе и на молоте. При этом имеет место следующее отличие: при штамповке на прессе, материал, расположенный по вершинам рифта имеет меньшее утонение, а на наклонной плоскости большее, по сравнению со штамповкой на молоте. Кроме того, при штамповке на прессе имеет место более равномерное утонение металла по всему поперечному сечению рифта. Причиной этого является принципиальное отличие схем штамповки, приведенных на рис. 1. Во первых, при штамповке на прессе отсутствует защемление жесткое заготовки по ее периметру, во вторых имеет место равномерность прилагаемых сил по поверхности заготовки с постепенным их увеличением в отличии от резких концентрированных контактных нагрузок молотовой штамповки, а также меньшая скорость деформирования материала.

Выводы

1. Прочностные характеристики стали 12Х17Г9АН4 в зоне рифтов листовой панели при штамповке на гидравлическом прессе на форм-блоке в полиуретановом контейнере за счет деформационного упрочнения достигают

требуемой величины предела прочности $\sigma_b = 900$ МПа для изделий данного класса.

2. Деформированного состояния листового материала в поперечном сечении рифта панели, штампуемой на молоте и прессе, характеризуется неравномерностью распределения деформации по толщине заготовки, при этом при штамповке на прессе имеет место меньшее и более равномерное утонение материала по сравнению со штамповкой на молоте.

Библиографический список

1. Смирнов-Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию // Г.А. Смирнов-Аляев – Машиностроение. - Л.: 1978. - 368 с.

2. Смирнов-Аляев, Г.А. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением / Г.А. Смирнов-Аляев, В.П. Чикидовский. - Л.: Машиностроение, 1972. –370 с.

**СХЕМА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ФОРМУЮЩИЕ ВАЛКИ
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАММЫ ПРОФИЛЕЙ УСИЛЕНИЯ БОРТА
Гульшин В.А.¹, Марковцев В.А.², Марковцева В.В.³, Филимонов А.В.⁴**

4 – к.т.н., технический директор АО «Новые промышленные технологии» (г. Н. Новгород)

Ключевые слова: профилирование в валках, метод интенсивного деформирования, гамма однотипных профилей, рифт, число переходов, экономия затрат.

Gulshin V.A.¹, Markovtsev V.A.², Markovtseva V.V.³, Filimonov A.V.⁴

4 – technical director of the «New Industrial Technologies», JSC (city of N. Novgorod), k.t.s.

Key words: roll-forming, intensive deformation method, range of homotypic profiles, rift, number of passes, cost saving.

При производстве транспортных средств и строительных конструкций часто возникает вопрос минимизации затрат технологической подготовки производства и изготовления, особенно в отношении гаммы однотипных профилей, имеющих различную ширину донной части и различную толщину стенок, но одинаковые подгибаемые полки. На рис. 1 в качестве типового представителя такой гаммы, включающей 12 типоразмеров длинномерных профилей, изображён наиболее широкий профиль усиления борта.

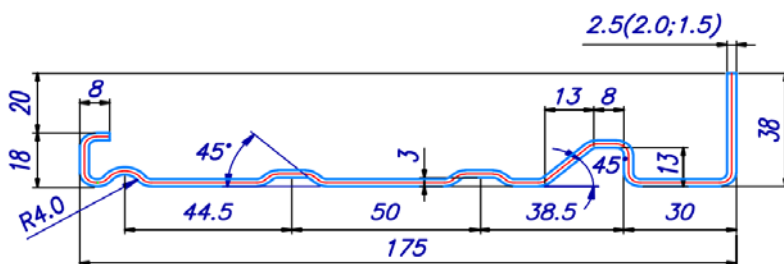


Рис. 1. Типовой представитель гаммы профилей усиления борта

Целью данной публикации является рассмотрение подхода к созданию технологий группового типа с минимизацией затрат технологической подготовки производства (ТПП) и изготовления.

Создание технологии предусматривает ряд этапов: оценка технологичности конструкции и изготовления профиля, разработка схем формообразования, выбор оборудования, изготовление технологического оснащения, отладка и запуск технологии в производство. Предварительный анализ технологичности показал, что вся гамма профилей может изготавливаться на профилировочных станках (с числом клеток от 6 до 12), геометрические параметры профилей и применяемые материалы позволяют выполнять их формовку в горизонтальных валках методом интенсивного деформирования [1].

Разработка технологических схем формообразования обычно включает выбор базового элемента и оси профилирования, расчёт числа переходов, определение последовательности формовки элементов жёсткости, оптимизацию углов подгибки, расчёт протяжённости зоны плавного перехода (при необходимости) и построение чистовой схемы формообразования. Для данной гаммы профилей базовым элементом является прямолинейный участок, примыкающий к большей полке, а ось профилирования проходит через середину его сечения вертикальной плоскостью.

Для расчёта числа переходов использовали мультипликативную модель работы [2], имеющую следующий вид:

$$N = \frac{H}{L_m \cdot \beta} \left(\sqrt{\frac{s}{k \cdot T}} \cdot \frac{\sigma_s}{\sigma_b} \right) \cdot \sqrt[3]{\frac{B}{W} \cdot n \cdot \alpha}, \quad (1)$$

где; s – толщина заготовки; k – квалитет сечения профиля; T – допуск размера сечения для квалитета k , мм; σ_s , σ_b – предел текучести и прочности материала заготовки соответственно, МПа; H , B – высота и ширина сечения профиля соответственно, мм; W – ширина развертки заготовки, мм; n – число зон

изгиба профиля; L_m – межклетьеовое расстояние профилировочного станка, мм; β – предельный угол «стеснения» заготовки, °; α – усреднённый суммарный угол подгибки полок, °.

В модели (1) первый сомножитель отражает соотношение высоты профиля и межклетьеового расстояния станка при их стандартном соотношении для данной технологии. Второй сомножитель в скобках отражает параметры точности сечения профиля относительно толщины его стенок. Второй сомножитель в скобках характеризует свойства материала заготовки. Сомножитель, содержащий кубический корень, учитывает «стеснение» заготовки в горизонтальной плоскости и число зон изгиба. На рис. 2 приведена программа, разработанная в пакете MathCad2001Pro, и результат вычисления числа переходов для наиболее крупного профиля с толщиной стенок 2,5 мм.

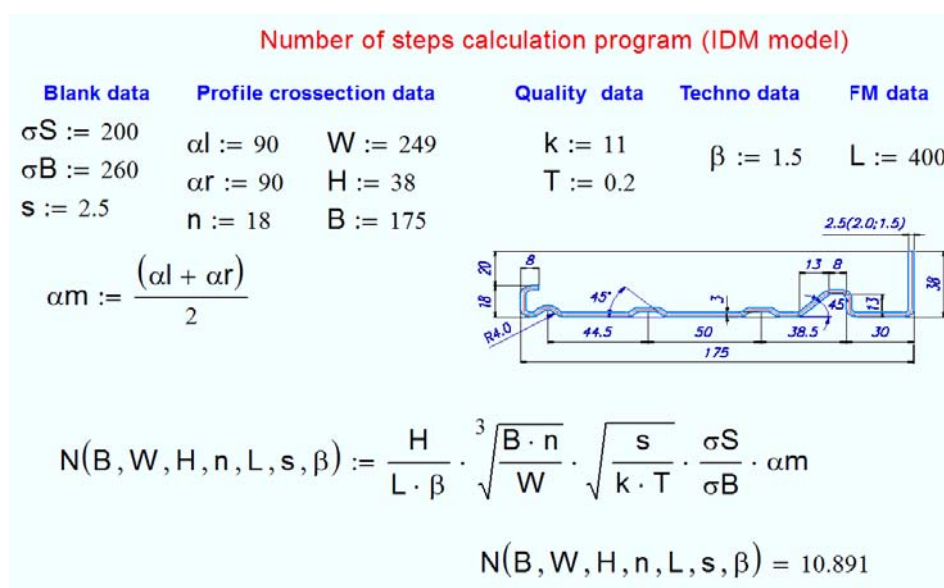


Рис. 2. Программа расчёта числа переходов

Заголовок программы включает сведения о заготовке, сечении профиля, степени точности профиля, об особенностях технологии и предполагаемом профилировочном станке. Результаты расчёта числа переходов для всех 12 профилей показаны в табл. 1.

Таблица 1. Расчётное число переходов для изготовления однотипных профилей

Профиль	Число переходов	Профиль	Число переходов
100×38×2,5 мм	8,15	150×38×2,5 мм	9,64
100×38×2,0 мм	7,28	150×38×2,0 мм	8,63
100×38×1,5 мм	6,31	150×38×1,5 мм	7,47
125×38×2,5 мм	9,44	175×38×2,5 мм	10,89
125×38×2,0 мм	8,45	175×38×2,0 мм	9,74
125×38×1,5 мм	7,32	175×38×1,5 мм	8,44

Из табл. 1 видно, что самый мелкий профиль можно изготовить за 6 переходов, а самый крупный – за 11 переходов. Поэтому для реализации технологии следует выбрать двенадцатиклетьевой стан средней серии.

На основе исследований работ [3, 4], для самого крупного профиля разработана схема формообразования с принципом параллельной формовки всех элементов, которая представлена на рис. 3. Калибр валков выполнен по наибольшей толщине заготовки. При этом были учтены процедуры назначения углов подгибки и формовки элементов жёсткости (рифтов в донной части и отбортовки левой полки). На основании схемы формообразования рис. 3 был разработан эскизный вариант комплекта формующих валков для

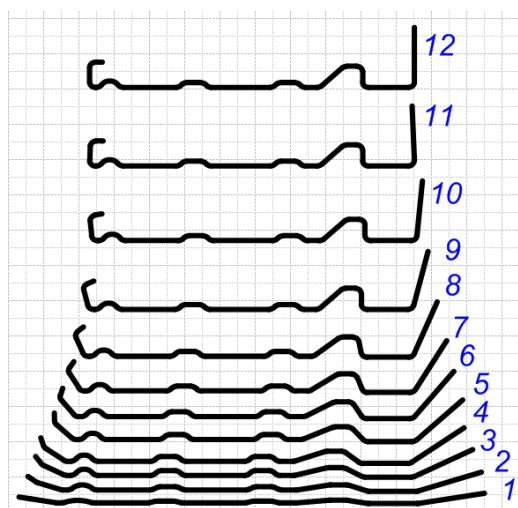


Рис. 3. Схема формообразования профиля 175×38×2,5 мм

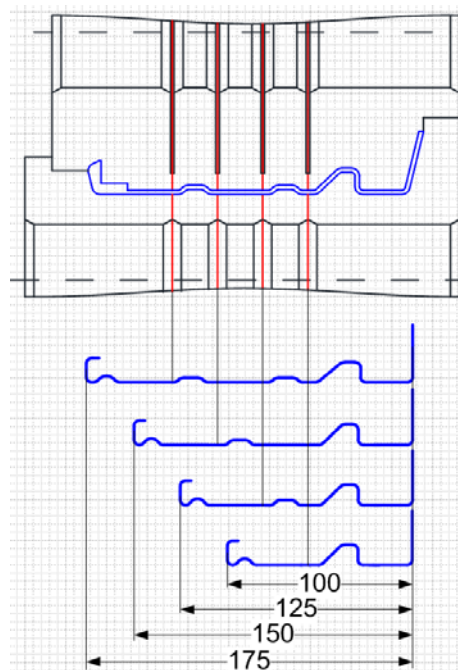


Рис. 4. Структура оснастки для формовки 12-ти профилей

изготовления указанного профиля с учётом возможности применения сборной оснастки с целью использования элементов базового набора для компоновки четырёх комплектов валков. Данный подход иллюстрирует рис. 4 (девятый переход), на котором видно, что для профиля шириной 175 мм верхний и нижний валки состоят из пяти элементов каждый, а для последующих профилей (при следовании их габаритов в нисходящем порядке) валки будут содержать меньшее число элементов, хотя используются все клетки профилировочного станка.

Для расчёта экономии за счёт применения сборной оснастки производили разбивку каждого валка на условные кольцевые элементы. Зная калькуляционную стоимость комплекта валков для производства самого крупного профиля, выполнили приближённый расчёт экономии при разработке технологии на гамму одностипных профилей. Общие сведения о расчётном (округлённом) числе переходов, количестве элементов каждого комплекта и цене каждого комплекта приведены в табл. 2.

Таблица 2. Стоимостные показатели комплектов формирующих валков

Профиль	Расчётное число переходов	Число элементов на переход	Число элементов в комплекте	Цена одного комплекта, тыс. руб.
100×38×2,5 мм	8	12	96	192
100×38×2,0 мм	7	12	84	168
100×38×1,5 мм	6	12	72	144
125×38×2,5 мм	10	14	140	280
125×38×2,0 мм	9	14	126	252
125×38×1,5 мм	8	14	112	224
150×38×2,5 мм	10	16	160	320
150×38×2,0 мм	9	16	144	288
150×38×1,5 мм	8	16	128	256

175×38×2,5 мм	12	18	216	432
175×38×2,0 мм	10	18	180	360
175×38×1,5 мм	9	18	162	324

Экономия равна сумме последней колонки за вычетом стоимости одного комплекта на 12 переходов и составляет 2,8 млн. рублей. Сюда включены также затраты на отработку технологии, но не учтена экономия за счёт затрат на хранение цельных комплектов для каждого профиля и облегчение работ по смене оснастки. Так что реальная экономия будет близка к 3 млн. рублей.

Библиографический список

1. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Интенсивное формообразование гнутых профилей. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 444 с.
2. Лапин В.В., Филимонов В.И., Лапшин В.И., Филимонов С.В. Расчёт числа технологических переходов при профилировании заготовки методом интенсивного деформирования // Заготовительные производства в машиностроении, 2014. №2. – С. 24 – 28.
3. Марковцев В.А., Марковцева В.В., Филимонов В.И. Производство гнутых профилей для авиационных конструкций. Ульяновск: УлГТУ, 2016. – 438 с.
4. Марковцева В.В. Совершенствование технологии производства гнутых профилей из листовых металлических заготовок с различными видами покрытий для авиационной и других отраслей промышленности. Дис. канд. техн. наук: 05.02.09 и 05.07.02. Самара: СГАУ, 2019. – 170 с.

УДК 621.981

**ОБ УТОЧНЁННОЙ МОДЕЛИ ЧИСЛА ПЕРЕХОДОВ
ДЛЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ШВЕЛЛЕРОВ****Гульшин В.А.¹, Филимонов А.В.², Филимонов В.И.³***1 – к.т.н., нач. Центра подготовки специалистов АО «Ульяновский механический завод», доц.**2 – к.т.н., технический директор АО «Новые промышленные технологии» (г. Н. Новгород)**3 – д.т.н., ВНС АО «Ульяновский НИАТ», профессор*

Аннотация. Уточнена универсальная модель числа переходов для метода интенсивного деформирования, показана работа модели на швеллерных профилях в сравнении с аналогичными моделями других авторов.

Ключевые слова: профилирование в валках, метод интенсивного деформирования, число переходов, швеллер, профиль с элементами жёсткости.

**ON AN IMPROVED MODEL FOR NUMBER OF STEPS
IN U-SECTIONS MANUFACTURING****Gulshin V.A.¹, Filimonov A.V.², Filimonov V.I.³***1 – head of Trainig center of the «Ulyanovsk Mechanical Plant», JSC, k.t.s., asc. prof.;**2 – technical director of the «New Industrial Technologies», JSC (city of N. Novgorod), k.t.s.,**3 – SR of the «Ulyanovsky NIAT», JSC, d.t.s., professor*

Abstract: There is refined the universal model to calculate the number of passes for intensive deformation method. We've tested the model on U-sections and compared our results with those of other authors.

Key words: roll-forming, intensive deformation method, number of passes, U-section, profile with rigidity elements.

В номенклатуре предприятий, специализирующихся на производстве гнутых профилей, швеллерные профили с толщиной стенок от 0,8 до 4 мм составляют значительную величину (около 20 %). При создании технологии на базе метода интенсивного деформирования (МИД) [1], особенно с использованием автоматизированных процедур расчёта, важное место занимает расчёт числа переходов для последующего выбора профилегибочного станка и разработки схем формообразования. Использувавшиеся ранее модели для традиционного профилирования имели значительную погрешность в разных областях диапазона параметров. Например, модель Халмоса [2] оказывается практически нечувствительной к изменению толщины заготовки от 1 до 4 мм, а модель фирмы «Хитачи Киндзоку» [3] работает удовлетворительно только если площадь развёртки

сечения заготовки составляет величину более 300 мм². Так что мелкосортные профили остаются неохваченными. Мультипликативная модель числа переходов [4] для технологии на основе МИД имела существенные погрешности при расчёте швеллеров высотой до 20 мм, а также профилей с шириной донной части более 120 мм.

Целью данной публикации является разработка уточнённой модели числа переходов в МИД, покрывающей практически всю номенклатуру швеллерных профилей с толщиной стенок до 4 мм. При этом модель должна удовлетворительно согласовываться с экспериментальными данными.

Исходная модель числа переходов для МИД [4] имела вид:

$$N = \frac{H}{L_m \cdot \beta} \left(\sqrt{\frac{s}{k \cdot T}} \cdot \frac{\sigma_s}{\sigma_b} \right) \cdot \sqrt[3]{\frac{B}{W} \cdot n \cdot \alpha}, \quad (1)$$

где; s – толщина заготовки; k – квалитет сечения профиля; T – допуск размера сечения для квалитета k , мм; σ_s , σ_b – предел текучести и прочности материала заготовки соответственно, МПа; H , B – высота и ширина сечения профиля соответственно, мм; W – ширина развертки заготовки, мм; n – число зон изгиба профиля; L_m – межклетьеовое расстояние профилировочного станка, мм; β – предельный угол «стеснения» заготовки, °; α – усреднённый суммарный угол подгибки полок, °.

В модели (1) первый сомножитель отражает соотношение высоты профиля и межклетьеового расстояния станка при их стандартном соотношении для данной технологии. Второй сомножитель в скобках отражает параметры точности сечения профиля относительно толщины его стенок. Второй сомножитель в скобках характеризует свойства материала заготовки. Сомножитель, содержащий кубический корень, учитывает «стеснение» заготовки в горизонтальной плоскости и число зон изгиба. Последний сомножитель учитывает суммарный угол подгибки.

Тестирование этой модели на швеллерных профилях показало большую чувствительность к толщине заготовки, отсутствие зависимости

числа переходов от предельных значений углов подгибки и критических углов, приводящих к переформовке заготовки при заданном межклетьевом расстоянии профилирующего станка. Однако при анализе модели оказалось, что длина зоны плавного перехода в большинстве случаев оказывается меньше межклетьевого расстояния, если углы подгибки полок не превышают предельные значения. Поэтому мы заменили межклетьевое расстояние на модельное значение протяжённости зоны плавного перехода (ЗПП) с введением предельных значений углов подгибки, зависящих от ширины полки и её толщины и отнесением протяжённости ЗПП к суммарному боковому смещению торцов заготовки. Также ввели отношение высоты профиля к его ширине в качестве некоторого подобия функции формы в моделях для традиционного профилирования. В результате тестирования модели по экспериментальным данным оказалось, что данная комбинация удовлетворительно работает, если она подведена под корень четвёртой степени. Кроме того, вместо угла «стеснения» заготовки ввели предельный угол подгибки за один переход.

Данная модель и две другие модели для традиционного профилирования представлены на рис. 1, в программе расчёта числа переходов в пакете MathCad2001Pro. В данном примере использования программы для расчёта числа переходов профиля 50x34x2 мм из низкоуглеродистой стали изначально задаются сведения о заготовке, профиле, точности его изготовления, а также в рубрике технологических данных – сведения о предельных углах подгибки и вспомогательная модель протяжённости ЗПП. Здесь же задаётся минимальное значение функции формы в модели Халмоса [2]. Ширину подгибаемых полок определили полуразностью ширины заготовки и ширины дна профиля. Углы подгибки полок представили также осреднённым значением. Это сделано на случай, когда швеллер является неравнополочным или когда суммарные углы подгибки полок отличаются от 90° .

В следующем разделе программы (model IDM) представлена сама модифицированная модель, в которой протяжённость ЗПП является функцией четырёх переменных, а угол подгибки за переход – функцией двух переменных. Значение числа переходов выводится в форме десятичной дроби, а также в округлённом виде с превышением.

Number of steps calculation programm for channel sections

Blank data	Profile data	Quality data	Techno data	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="padding: 2px;">H</td> <td style="padding: 2px;">W</td> <td style="padding: 2px;">S</td> </tr> </table>	H	W	S
H	W	S					
$\sigma S := 200$ $\sigma B := 260$ $s := 2.0$	$\alpha l := 90$ $\alpha r := 90$ $n := 2$	$W := 116$ $H := 34$ $B := 50$	$k := 11$ $T := 0.2$	$\theta(H, s) := 23 - \frac{H}{8} + 2(1 - s)$ $p := 1$			
$L(W, B, s, \theta) := \sqrt{\frac{(W - B)^3 \cdot \theta(H, s)}{3 \cdot s \cdot 57.3}}$							
$b := \frac{W - B}{2} \quad \alpha m := \frac{(\alpha l + \alpha r)}{2}$							
Model (IDM) $N(B, W, H, n, L, s, \theta) := \sqrt[4]{\frac{L(W, B, s, \theta)}{(W - B)}} \cdot \frac{H}{B} \cdot \sqrt[3]{\frac{n \cdot s}{k \cdot T}} \cdot \frac{\sigma S}{\sigma B} \cdot \left(\frac{\alpha m}{\theta(H, s)} \right)$							
$N(B, W, H, n, L, s, \theta) = 5.301 \quad N := \text{ceil}(N(B, W, H, n, L, s, \theta)) \quad N = 6$							
Model (Halmos) $N(H, s, \sigma S, \sigma B, p) := p \cdot \left(0.237 \cdot H^{0.8} + 0.834 \cdot s^{-0.87} + \frac{\alpha m}{90} \right) \cdot \left(\frac{\sigma S^{2.1}}{40 \cdot \sigma B} \right)^{0.15}$							
$N(H, s, \sigma S, \sigma B, p) = 7.205 \quad N(H, s, \sigma S, \sigma B, 1.5) = 10.807$							
'Kindzoku model							
$FkN(b, n, s) := b \cdot n \cdot s \quad FkL(B, W, H, n) := W \cdot H \cdot \frac{n}{B}$							
$f(N) := 8.4914 \cdot N^2 - 21.509 \cdot N + 195.51 \quad N := 4$							
$\text{root}(f(N) - FkL(B, W, H, n), N) = 1.267 + 1.686i \quad FkL(B, W, H, n) = 157.76$							
$\text{root}(f(N) - FkN(b, n, s), N) = 1.267 + 2.424i \quad FkN(b, n, s) = 132$							

Рис. 1. Программа расчёта числа переходов

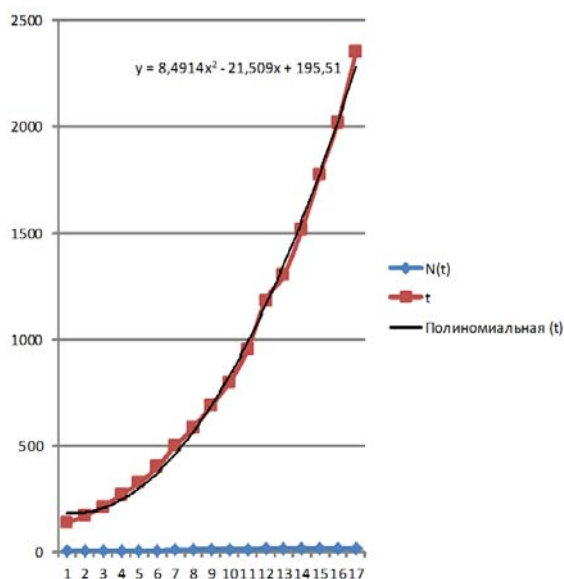


Рис. 2. Аппроксимация функции формы в модели Хитачи Киндзоку

Для сравнения результатов здесь же приведены модели Халмоса и Хитачи Киндзоку. В модели Халмоса результат представлен для нижнего ($p = 1$) и верхнего ($p = 1,5$) значений функции формы. Для численной реализации модели Хитачи Киндзоку нами была предварительно выполнена аппроксимация зависимости «число переходов» - «функция формы» с помощью полиномиальной зависимости в пакете MS Excel-2010Pro (рис. 2). Значения функций формы для узкого и широкого профиля приведены в явной форме. Для определения числа переходов использовали функцию root определения корней уравнения из пакета MathCad2001Pro.

Результаты расчёта числа переходов с помощью представленной на рис. 1 программы сведены в нижеприведенную таблицу. Они относятся к профилям с заданной шириной дна и высотой, но различных толщин.

Таблица 1

Расчётное и практическое значение N для некоторых швеллеров

Модель	Расчётное число переходов N						N _{пр}
	Толщина заготовки s, мм						
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	
		Профиль50х34х2мм					
Halmos	7,7	7,4	7,2	7,1	7,0	7,0	6
IDM	4,2	4,7	5,3	5,9	6,5	7,1	
H-Kindz	—	—	—	—	2,6	3,6	
		Профиль60х26х2мм					
Halmos	6,7	6,4	6,2	6,1	6,0	5,9	6
IDM	3,4	3,9	4,4	4,8	5,3	5,8	
H-Kindz	—	—	—	—	—	1,3	
		Профиль32х25х1,5мм					
Halmos	6,6	6,2	6,0	5,9	5,9	5,8	6
IDM	3,9	4,5	5,0	5,5	6,0	6,8	
H-Kindz	—	—	—	—	—	—	
		Профиль35х20х1,4мм					
Halmos	5,9	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	6
IDM	3,5	3,9	4,4	4,8	5,3	5,7	
H-Kindz	—	—	—	—	—	—	
		Профиль100х58х2,5мм					
Halmos	10,5	10,2	10,0	9,9	9,8	9,8	8
IDM	4,9	5,6	6,5	7,3	8,1	9,0	
H-Kindz	—	—	3,6	4,8	5,7	6,4	
		Профиль30х68х2мм					
Halmos	11,6	11,3	11,1	11,0	10,9	10,8	8
IDM	7,6	8,9	10,1	11,4	12,6	14,5	
H-Kindz	—	2,9	4,5	5,6	6,4	7,1	

Здесь практические значения числа переходов относятся к формовке профилей методом интенсивного деформирования. Таблица показывает, что при малой ширине полок модель Халмоса даёт число переходов близкое к практическому, а модель МИД даёт несколько заниженные значения, хотя на практике первые четыре профиля можно изготовить с помощью МИД за 4 – 5 переходов. Однако профилировочные станки с числом переходов менее шести практически не используются при реализации МИД. Существенное повышение числа переходов с ростом толщины заготовки в модели МИД объясняется формовкой в закрытых калибрах с небольшими диаметрами формирующих валков, что приводит к росту контактных напряжений с увеличением толщины заготовки. А это требует увеличения числа переходов, в то время как в модели Халмоса наблюдается противоположная зависимость. Что касается модели Хитачи-Киндзоку, то она плохо работает в области мелкосортных профилей. Прочерки в таблице показывают, что в качестве решения получены комплексные числа. Для широких профилей и профилей большого сечения эта модель даёт достаточно хорошие результаты, однако для неё не указаны границы между «узким» и «широким» профилем. Эти границы можно получить оценочно прогонкой по узким и широким профилям для приемлемых размеров подгибаемых полок.

Отметим, что модель МИД даёт почти точные значения числа переходов для профилей коробчатой или швеллерной формы с элементами жёсткости (при числе зон изгиба более четырёх на выборочной номенклатуре), в то время как модель Халмоса число зон изгиба вовсе не учитывает.

Таким образом, уточнённая модель числа переходов в МИД на данном этапе может использоваться для предварительного выбора оборудования и разработки схем формообразования швеллерных профилей. Следует также провести её полное тестирование по номенклатуре профилей коробчатой формы.

Библиографический список

1. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Интенсивное формообразование гнутых профилей. – Ульяновск: УлГТУ, 2008.– 444 с.
2. Roll Forming Handbook / Ed. by G.T. Halmos. Boca Raton: CRC Press. 2006. 583 p.
3. Ona H., Jimma T. and Konzono H. A computer aided design system for cold roll forming // Advanced Technology of Plasticity-JSTP, 1984. P. 422-427.
4. Лапин В.В., Филимонов В.И., Лапшин В.И., Филимонов С.В. Расчёт числа технологических переходов при профилировании заготовки методом интенсивного деформирования // Заготовительные производства в машиностроении, 2014. №2. – С. 24 – 28.

УДК 621.15

**КАВИТАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ КАК МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ
МОЛЕКУЛЯРНОЙ ВОДОРОДНОЙ ПЛЕНКИ В УСЛОВИЯХ
ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ****Кокорин В.Н.¹, Мишов Н.В.², Шиллер Н.П.³***1 – д.т.н., заведующий кафедрой “Материаловедения и ОМД” УлГТУ, профессор
г. Ульяновск.**2 – магистрант УлГТУ, г. Ульяновск.**3 – магистрант УлГТУ, г. Ульяновск.*

Аннотация. В статье представлены материалы проведенного исследования по установлению влияния кавитационных явлений как механизма образования молекулярной водородной пленки в условиях высоких давлений.

Ключевые слова: кавитация, давление, водородная пленка, МКК.

**CAVITATION PHENOMENA AS A MECHANISM FOR THE FORMATION OF
A MOLECULAR HYDROGEN FILM AT HIGH PRESSURES****Kokorin V. N.¹, Mishov N. V.², Shiller N. P.³***1-Head of the Department of Materials Science and OMD, UlSTU, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ulyanovsk.**2-Master's student of UlSTU, Ulyanovsk.**3-Master's student of UlSTU, Ulyanovsk.*

Annotation. The article presents the materials of the research conducted to establish the influence of cavitation phenomena as a mechanism for the formation of a molecular hydrogen film at high pressures.

Keywords: cavitation, pressure, hydrogen film, MCC.

Следствием механохимического воздействия на твердое тело, как утверждает академик В. В. Болдырев, является увеличение удельной поверхности и агрегатирование активируемых частиц; образование дислокаций при пластической деформации. При этом выходы протяженных дефектов на поверхность (в том числе, и образующие боковых стенок поверхности пор) создают благоприятные условия расположения атомов при протекании химических реакций за счет повышения активности металла оксидов (Me) (при накоплении различного рода дефектов (точечных, дислокаций)), а также изменения соотношения между площадями различных граней кристаллической решетки и изменения габитуса.

В работах исследователей, где рассмотрено влияние водосодержащей среды на развитие термомеханохимических реакций в процессах резания и

приложения давления, установлено, что при механохимической обработке металла в результате интенсивных пластических деформаций под действием высокой температуры и сдвиговых нагрузок происходит деструкция водосодержащей жидкости (воды) с образованием газовой смеси, состоящей из химических элементов, входящих в состав воды, – водород и кислород.

Известно, что реакция таких водосодержащих молекул, как вода, сопровождается их дегидрогенезацией и появлением на поверхности химически связанных с ней атомов водорода.

В соответствии с результатами исследований физхимиков формирование новой поверхности при деформации сдвигом прилежащей поверхности, - это сложный комплекс физико-механических явлений разрыва и реструктуризации связей между атомами кристаллической решетки металла. Такие процессы в условиях повышенных температур (в том числе и в локальных зонах, инициированными локализованным сдвигом) в зоне пластического сдвига (смещенного объема) также инициируют химические деструкционные превращения в водородосодержащей (вода) жидкости с образованием водорода в атомарно/ молекулярной форме.

Был разработан технический регламент и спроектирована оригинальная инструментальная оснастка для прессования гетерофазных увлажненных порошковых смесей с обеспечением условий нагружения, инициирующих и реализующих локализованные сдвиговые деформации при реализации неравномерного всестороннего сжатия, обеспечивающая протекания термомеханохимических реакций.

Отпрессованные образцы проверялись по методике АМУ на склонность МКК.

На рисунке 1 представлен стенд термической обработки образцов в кипящем растворе серной кислоты.



Рисунок 1. – Стенд термохимической обработки образцов

Под действием высокого давления (1,5...1,6 ГПа) и разрушения арочных контактов структуры пористого материала возникают интенсивное движение жидкой фазы в межинструментальный зазор, при этом наблюдаются кавитационные явления в процессе образования пузырьков в жидких средах, с последующим их схлопыванием и высвобождением большого количества энергии (рис. 2). Кавитационные процессы в следствии сейсмоударного воздействия над пределом прочности суперосциллятора воды сопровождается разрушением жидкой фазы на молекулы водорода и кислорода. Нагрузки могут превышать прочность молекул, и тогда происходит их разрушение на атомы кислорода, водорода и электроны связи этих атомов.

В результате деструкции воды под действием гидродинамической кавитации в процессе интенсивного уплотнения увлажненных механических смесей наблюдается явление механотермолиза (разложение) воды при котором в воде инициируются механохимические реакции с образованием HO_2^- , O_2^{2-} , H_2O_2 , OH^- ; образуются новые водородные связи, то есть распад молекул воды на атомы водорода и радикалы OH .

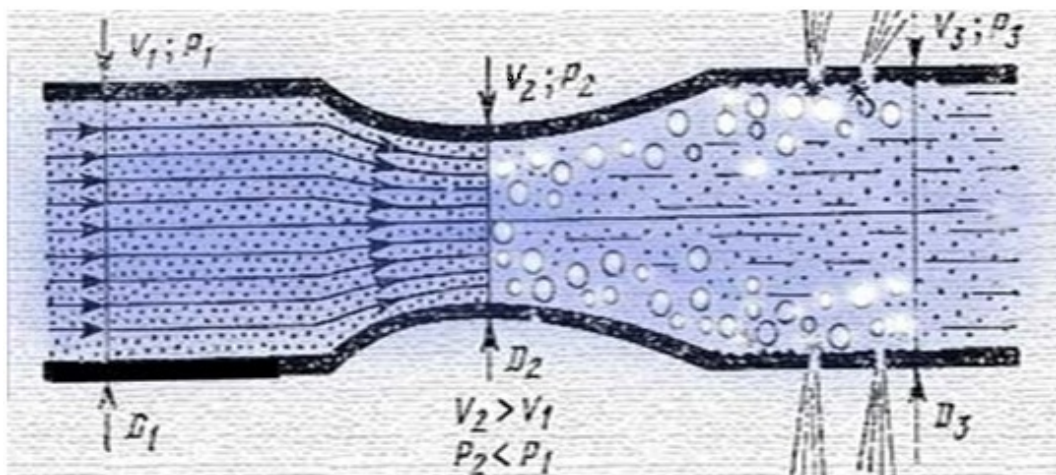
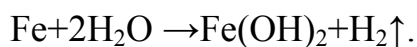


Рисунок 2. – Механахимическое высокоградиентное приобразование воды в потоке (гидромеханическая кавитация)

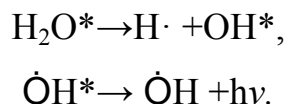
Образование водорода при механоактивации воды проходит непосредственно за счет ее взаимодействия с тонкодисперсным железом структуры прессовки:



Резюмируя, можно сделать вывод, что при высоких давлениях прессования железного порошка ($\geq 1,5 \dots 1,6$ ГПа) в условиях локализованного сдвига участков сосредоточения микропор, содержащих воду с растворенным воздухом пор, происходит искажение кристаллической решетки металла, что способствует возникновению точечных дефектов и линейных дислокаций, как правило, несущих запас "избыточной" энергии. Избыток энергии, накапливаемый в процессе образования и роста дефектов,

расходуется непосредственно на разрушение внутри/межмолекулярных связей воды (процесс механодеструкции).

Диссоциация (разложение) воды в процессе ее механолиза происходит по зависимости:



Одновременно происходит изменение структуры воды с образованием свободных водородных связей, что обуславливает ее повышенную активность и реагентную способность.

Таким образом, за счет первоначального протекания процесса механоактивации твердофазной системы: "металл (железо) - жидкость (вода)" выход водорода увеличивается.

Предположительно, именно образуемые данные мономолекулярные слои водорода, "размазываясь" по структуре всего объема металла, препятствуют процессам оксидирования, а в некоторых случаях и способствуют восстановлению оксидов (при спекании прессовок). Предложенная модель (рис.3) образования мономолекулярного слоя водорода на активных центрах адсорбции при интенсивном структурном деформационном сдвиге и возникновение термомеханохимических реакций позволяет объяснить интерфейс взаимодействий границ между функциональными объектами «металл-пора(жидкость)-металл».

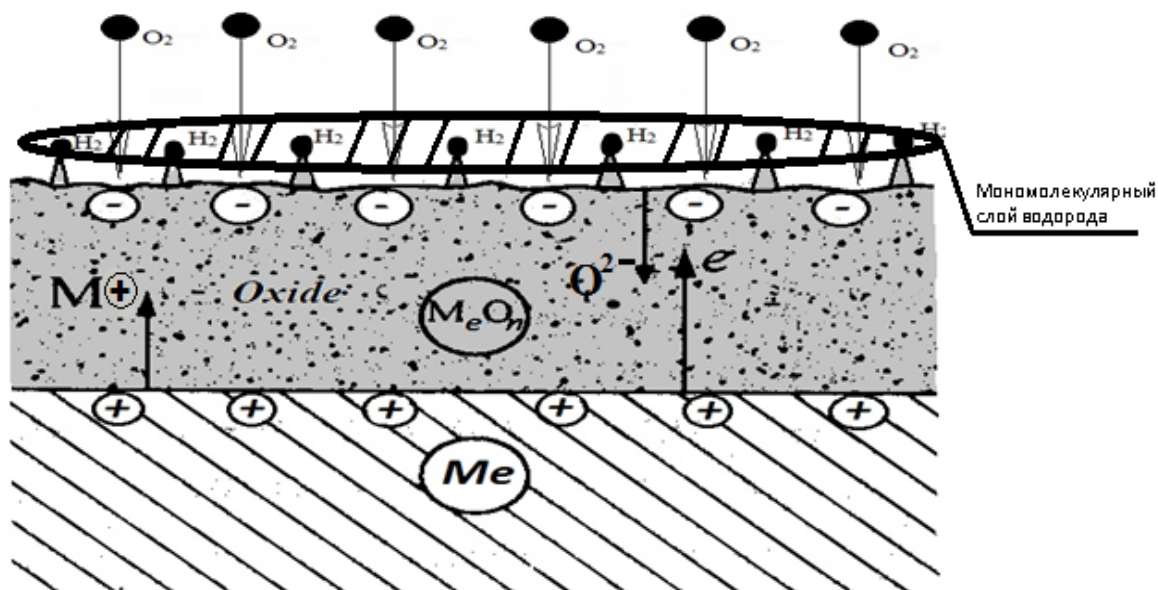


Рисунок 3.– Схема образования мономолекулярного слоя водорода на активных центрах адсорбции

Библиографический список

1. Кокорин В.Н., Рудской А.И., Филимонов В.И., Булыжев Е.М., Кондратьев С.Ю. Теория и практика процесса прессования гетерородных увлажненных смесей на основе железа. Ульяновск.: УлГТУ. 2012.-236с.
2. В. Н. Кокорин, А.Н. Рудской, С. Ю. Кондратьев и др. Прессование гетерофазных увлажненных порошков при использовании метода интенсивного уплотнения // Научные технологии в машиностроении. – 2013. №5 – С.13-20.
3. В. И. Волков, В.Н. Беккер, И.Б. Катраков и др. Механохимические преобразования воды в высокоградиентных потоках // Известия АлтГУ – 2007, №3 (55), С.63-70.
4. Патент РФ №2638869. «Способ получения защитной оксидной пленки на металлической поверхности», Кокорин В.Н., 2018.

УДК 621.77

**КАВИТАЦИЯ КАК КАТАЛИЗАТОР СДВИГА ПРИ
НАГРУЖЕНИИ СТРУКТУРНО НЕОДНОРОДНЫХ ГЕТЕРОФАЗНЫХ
МАТЕРИАЛОВ****Кокорин В.Н.¹, Кокорин А.В.², Мишов Н.В.³, Шиллер Н.П.⁴,
Журтубаев А.К.⁵***1 – заведующий кафедрой “Материаловедения и ОМД” УлГТУ, д.т.н., профессор г. Ульяновск.**2 – инженер-технолог ООО “Шэффлер РУС”, г. Ульяновск.**3 – магистрант УлГТУ, г. Ульяновск.**4 – магистрант УлГТУ, г. Ульяновск.**5 – бакалавр 3 года каф. “Материаловедения и ОМД” УлГТУ, г. Ульяновск.*

Аннотация. В статье представлены материалы проведенного исследования процесса интенсивного уплотнения и структурообразования плотноупакованных механических смесей при получении структур теоретической плотности (или близких к ней) при сдвиге с использованием структурных фаз различного агрегатного состояния. Оценено влияние жидкой фазы на кавитационные процессы, как фактор сдвига.

Ключевые слова: кавитация, уплотнение, жидкая фаза, сдвиг.

**CAVITATION AS A SHEAR CATALYST UNDER LOADING OF
STRUCTURALLY INHOMOGENEOUS HETEROPHASE MATERIALS****Kokorin V.N.¹, Kokorin A.V.², Mishov N.V.³, Shiller N.P.⁴,
Zhurtubaev A.K.⁵***1 - head of the department "MiOMD" UlSTU, doctor of technical sciences, professor in Ulyanovsk.**2 - Process Engineer LLC “Shaffler RUS”, Ulyanovsk.**3 - Master's student UlSTU, Ulyanovsk.**4 - Master's student UlSTU, Ulyanovsk.**5 - student of 3 years of the cafe "MiOMD" UlSTU, Ulyanovsk.*

Annotation. The article presents the materials of the study of the process of intensive compaction and structure formation of close-packed mechanical mixtures when obtaining structures of theoretical density (or close to it) during shear using structural phases of various aggregate states. The influence of the liquid phase on cavitation processes is estimated as a shear factor.

Key words: cavitation, compaction, liquid phase, shear.

Анализ научно-технической литературы позволил установить, что в настоящее время имеется достаточное количество публикация, включающих в себя материалы законченных исследований и технологических рекомендаций по разработке процесса интенсивного уплотнения и структурообразования плотноупакованных механических смесей при получении структур теоретической плотности (или близких к ней) за счет

сдвига с использованием структурных фаз различного агрегатного состояния.

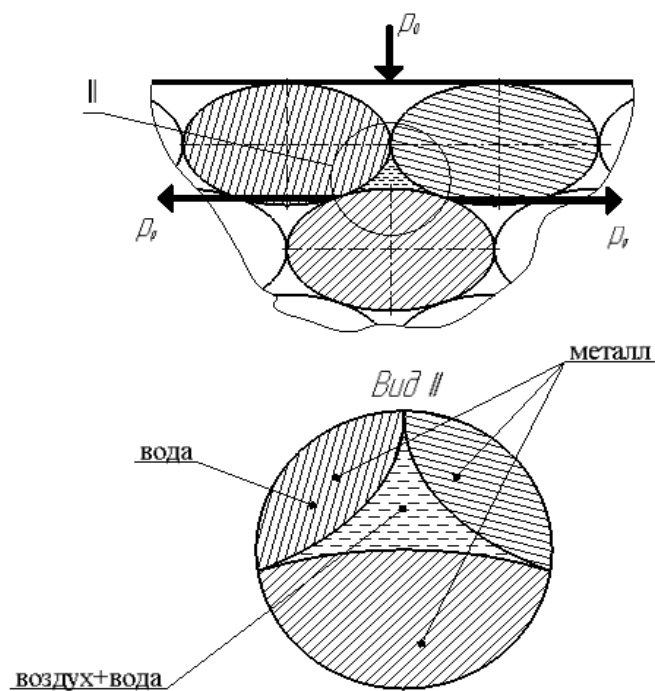


Рис. 1. Схема трансформации ядра по Гарвею при реализации интенсивного нагружения: а) исходная схема; б) трансформированная схема

Учитывая, что процесс консолидации гетерофазных механических систем на основе железа при реализации условий нагружения, инициирующих и моделирующих возникновение сдвиговых деформаций, имеет свои особенности как при уплотнении, так и структурировании, необходимо особое внимание уделять влиянию вторичных фаз, являющихся самостоятельным элементом в структуре “порошок-жидкость-воздух”.

Следует отметить, что содержание в жидкости (воде) пузырьков воздуха позволяет увеличить сжимаемость воды в сотни раз и сделать её основным фактором, инициирующим наличие локализованного сдвига материала в поперечном направлении (в направлении межинструментального зазора). На рисунке 1 представлена схема трансформации ядра по Гарвею при реализации интенсивного нагружения.

По результатам экспериментов по изучению характера уплотнения гетерофазной смеси на основе железа предложена физическая модель (Рисунок 2) четырехстадийного процесса уплотнения при реализации условий, инициирующих и реализующих локализованные сдвиговые деформации (деформационное уплотнение).

Анализ проведенных экспериментальных исследований процессов уплотнения гетерофазных структурнонеоднородных механических смесей на основе железа в условиях интенсивного сдвига (прикладываемое давление составляет 1.4...1.6 ГПа), а также аналитико-теоретического исследования процессов структурирования позволил установить, что само наличие

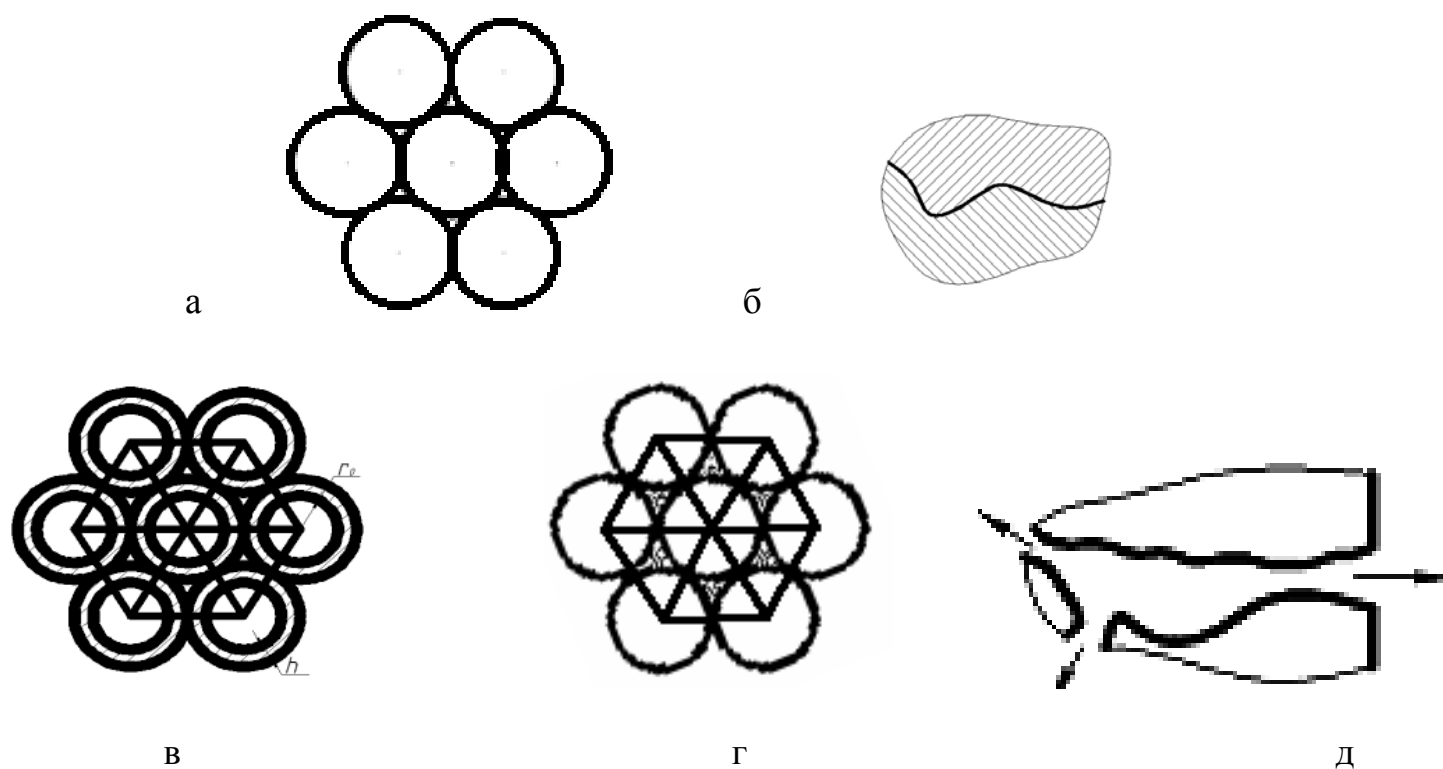


Рис. 2. Физическая модель постадийного уплотнения: а) первая стадия; б) вторая стадия; в) третья стадия (1 - консолидация 2- разрушение контактов); г) четвертая стадия а), б)- структурное уплотнение; в), г)- деформационное уплотнение (г – локализованный сдвиг).

вторичной фазы (вода с растворенным воздухом пор) обуславливает образование кавитационных явлений, что в свою очередь обуславливает как разрушение арочных контактов и, соответственно, получения структур теоретической плотности, а так же создание условий разложения воды на газовые составляющие (водород и кислород) за счет превышения сейсмоударного воздействия над пределом прочности суперциллятор воды.

Библиографический список

1. Кокорин В.Н., Крупенников О.Г., Груздев Д.П., Митюшкин А.А., Сизов Н.А. Интефикация уплотнения структурно-неоднородных механических смесей на основе железа . Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. Т. 4. № 1 (49). С. 94-102.
2. Кокорин В.Н. Прессование деталей и заготовок с использованием механических смесей с различным фазовым состоянием. Ульяновский государственный технический университет. Ульяновск, 2009.
3. Булыжев Е.М., Кокорин В.Н., Титов Ю.А., Григорьев А.А. Прокатка листового металла. Технологическое обеспечение процесса прокатки, новое поколение высокоэффективных систем очистки больших объемов водных технологических жидкостей и стоков. Учебное пособие / Ульяновск, 2009.
4. Кокорин В.Н., Кокорин А.В. Интенсивное прессование гетерофазных механических смесей на основе железа при реализации локализованного сдвига . УлГТУ, Ульяновск, 2020.
5. Кокорин В.Н., Рудской А.И., Филимонов В.И., Булыжѐв Е.М., Кондратьев С.Ю. Теория и практика процесса прессования гетерофазных увлажненных механических смесей на основе железа. УлГТУ, Ульяновск, 2012.

УДК 621.984.3; 629.7.023

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ЭТАПЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДОЙ НАЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ FDM-ПЕЧАТИ ОСНАЩЕНИЯ

Кудряшов В.А.¹, Кошкина А.О.²*1 – аспирант кафедры «Самолетостроение», ИАТУ УлГТУ.**E-mail: kudryashov-vl@mail.ru**2 – к.т.н., доцент кафедры «Самолетостроение», ИАТУ УлГТУ.**E-mail: fallen0008@mail.ru*

Аннотация. В статье рассмотрено применение аддитивных технологий, направленных на оптимизацию процессов технологической подготовки производства (ТПП) процессов. Совершенствование системы ТПП агрегатно-сборочного производства в условиях автоматизации процессов зависит от качества поставляемых на сборку деталей. Рассматривается совершенствование процессов ТПП с целью повышения качества изготовления деталей. Применение технологии изготовления технологической оснастки из полимерных материалов аддитивным методом позволит повысить качество продукции, улучшить эксплуатационные характеристики, сократить металлоемкость, снизить время производственного цикла продукта (изделия). Рекомендуемая зона формообразования листовых деталей, отражены проблемы, которые не могут быть решены согласно регламентирующих документов. На примере деталей типа диафрагм, компенсаторов показано возникновение дефектов, и предложено решение данной проблемы формообразования с оснащением из аддитивных материалов. Показаны результаты моделирования и натурного эксперимента для модельных деталей.

Ключевые слова: технологическое оснащение, алюминиевые сплавы, аддитивные технологии, технологическая подготовка производства, сверление отверстий, FDM-печать, формообразование деталей, взаимозаменяемость, эластичная среда, листовая штамповка.

INVESTIGATION OF THE PROCESSES OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION AT THE STAGE OF FORMING AN ELASTIC MEDIUM ON SHEET BLANKS USING FDM-PRINTING EQUIPMENT

Kudryashov V. A.¹, Koshkina A. O.²*1 – postgraduate student of the Department of aircraft construction, ИАТУ УлГТУ.**E-mail: kudryashov-vl@mail.ru**2 – Ph. D., docent of the Department of aircraft construction, ИАТУ УлГТУ.**E-mail: fallen0008@mail.ru*

Abstract. The article considers the application of additive technologies aimed at optimizing the processes of technological preparation of production (CCI) processes. The improvement of the CCI system of aggregate and assembly production in the conditions of automation of processes depends on the quality of the parts supplied for assembly. The article considers the improvement of the CCI processes in order to improve the quality of manufacturing parts. The use of technology for manufacturing technological equipment from polymer materials by the additive method will improve the quality of products, improve operational characteristics, reduce metal consumption, and reduce the production cycle time of the product (product). The recommended area for forming sheet parts, reflects the problems that can not be solved according to the

regulatory documents. On the example of parts such as diaphragms, compensators, the occurrence of defects is shown, and a solution to this problem of shaping with equipment made of additive materials is proposed. The results of modeling and field experiment for model parts are shown.

Keywords: technological equipment, aluminum alloys, additive technologies, technological preparation of production, drilling holes, FDM printing, forming parts, interchangeability, elastic medium, sheet stamping

Введение

В современных условиях мировой конкуренции в авиастроении необходимо постоянно оптимизировать затраты на проектирование, изготовление, отработку и внедрение технологического оснащения. При выполнении клепально-сборочных работ над компонентами возникают проблемы, связанные с качеством деталей. Обеспечение жестких требований к деталям при существующих подходах к технологической подготовке производства связано с совершенствованием оснащения.

Рассматриваемая тема исследования в настоящее время является весьма актуальной, ведь применение аддитивных методов позволит не только усовершенствовать имеющиеся технологии, но и привести к снижению трудоемкости за счет исключения из производственного процесса затрат времени на выполняемые вручную доводочные работы.

Рассматриваемые в данной работе научно-технические заделы могут найти применение не только в авиакосмической промышленности, например в заготовительно-штамповочном, литейном производстве, но и в других машиностроительных отраслях.

Целевыми показателями в данной работе является повышение качества технологического оснащения за счет увеличения показателей точности и максимального соответствия электронной модели (ЭМ) со снижением трудоемкости изготовления. Предполагается, что работа связана с повышением гибкости производства и минимизацией необходимости переналадки оборудования под новое изделие, оптимизацией массы

оснастки, сокращением затрат на оснащение и подготовительно-заключительное время (ПЗВ). Кроме того, предполагается минимизация получения повреждений при хранении средств технологического оснащения (СТО), повышение качества при сборке компонентов летательного аппарата.

Особенности использования аддитивных технологий

Одним из перспективных направлений применения аддитивных технологий является изготовление технологической оснастки – приспособлений и инструментов для серийного производства. В частности, изготовление формблоков, болванок, контрольно-доводочных приспособлений.

Применение методов получения СТО за счет технологий послойного синтеза позволит радикально сократить время создания новой продукции. Значительная часть технологической оснастки может быть получена в виде готовой продукции в течение 1-3 дней с учетом подготовительно-заключительного времени: проектирование модели и собственно печать.

Преимущества аддитивного производства СТО:

- сокращение производственных издержек, отсутствие длительных технологических переделов и содержания большого парка технологического оборудования;
- возможность создания сложных форм и конфигураций, максимально соответствующих ЭМТ;
- повышение гибкости производства, отсутствие необходимости переналадки оборудования под новое изделие – достаточно загрузить необходимую модель STL;
- полная автоматизация процесса – весь производственный процесс проходит в автоматическом режиме без дополнительных действий со стороны оператора;

- возможность децентрализации производства и организации дистанционного управления – нет необходимости личного присутствия оператора, можно удаленно отправить модель STL и запустить производство;
- отсутствие отходов;
- повышение качества получаемого технологического оснащения за счет увеличения показателей точности и максимального соответствия ЭМТ;
- экономия при изготовлении СТО для разовых заказов, для изделий с ограниченными сериями, опытных образцов технологического оснащения на этапе КТО.

Использование аддитивных технологий в производстве технологического оснащения позволит сократить сроки изготовления формблоков, контрольно-доводочных приспособлений, болванок и комплектующих для обтяжных пуансонов. Использование в процессе аддитивных технологий дает возможность уменьшить время изготовления опытных образцов и в ряде случаев серийной продукции – в десятки раз.

Изготовление СТО с использованием аддитивных технологий, позволит значительно сократить сроки проектирования, упростить изготовление формообразующей оснастки, на порядок снизить ее массу, сократить циклы изготовления крупногабаритных формозадающих поверхностей. И при этом, существенно сократить трудоемкость работ, обеспечить сохранность оснастки от повреждений и повысить показатели качества выпускаемой продукции и культуры производства.

Кроме этого, следует отметить, что в настоящее время существует несколько проектов, направленных на переработку использованного пластика в материалы для 3D печати. Проекты основаны на выработке расходных материалов с помощью шредеров и переплавляющих устройств. С возможностью переработки, производство СТО аддитивным методом становится практически безотходным.

Очевидно, что аддитивное производство обладает неоспоримыми преимуществами по сравнению с традиционными технологиями, но для его освоения и внедрения потребуется решить ряд проблем:

- отсутствие позитивного опыта внедрения в промышленности;
- отсутствие опыта проектирования изделий, изготавливаемых аддитивными методами, с обеспечением их функциональных качеств;
- отсутствие стандартов на используемые материалы, технологии изготовления и методы контроля получаемой продукции.

Для получения изделий сложной формы методом 3D печати в FDM технологии используют полимерные материалы. Наиболее популярными неметаллическими материалами являются термопластичные полимеры (ABS, PLA, PET-G). Одним из перспективных направлений применения аддитивных технологий является изготовление СТО – оснастки и приспособлений на этапе конструкторско-технологической обработки.

Применение методов получения технологического оснащения за счет технологий послойного синтеза, позволит радикально сократить время создания новой продукции. Значительная часть технологической оснастки может быть получена в виде готовой продукции до 4 дней, с учетом подготовительно-заключительного времени.

Моделирование, исследование натуральных образцов

По технологической ЭМ при помощи 3D печати, были изготовлены несколько различных СТО с оптимизацией процесса производства. На рисунке 1 представлен образец формблока из материала PLA для формообразования листовых заготовок.



Рис. 1. Образец формблока № 1 из материала PLA

В качестве образцов для изготовления формблоков, подобраны действующие модели оснастки заготовительно-штамповочного производства. Формблок № 1, состоящий из основания и прижимной накладки, был изготовлен из пластика PLA. Масса формблока составила 0,37 кг, при степени заполнения пластика менее 40%.

В процессе формообразования на листогибочном прессе листовой заготовки из материала 1163AM, с толщиной листа 1,5 мм, по центральной части основания формблока в зоне выполнения отбортовки, произошло частичное замятие пластика и возникли многочисленные складки в радиусной зоне. В связи с выявленными несоответствиями, было принято повысить степень заполнения формблока при аддитивной печати.

Образец формблока № 2, состоящий из основания, упора и прижимной вкладки также изготовлен из пластика ABS. Масса формблока составила 0,424 кг, при степени заполнения пластика менее 60%. Общее время печати всех комплектующих составило 19 часов.



Рис. 2. Образец формблока № 2 из материала ABS

В результате, на листогибочном прессе было выполнено формообразование на трех листовых заготовках из материала 1163AM с толщиной листа 1,5 мм. При выполнении работ на четвертой заготовке, на центральной части основания формблока с зоной выполнения отбортовки, произошло частичное замятие пластика.

Таким образом, проведенный эксперимент подтвердил возможность применения в производстве СТО, изготовленных с помощью 3D печати, особенно для выполнения разовых заказов. Кроме этого, сделаны выводы об увеличении степени заполнения материала в критичных зонах (отбортовки, радиусные зоны).

Материал заготовки– 1163AM задан следующими параметрами:

- модуль Юнга – 70 ГПа;
- коэффициент Пуассона – 0.33;
- плотность – 2.6 кг/мм³;
- коэффициенты анизотропии r_0° , r_{45° , r_{90° – 0.5089, 1.2808, 0.6654;

Листовая деталь толщиной 0,8 мм.

Константы функции для материала 1163AM: $K = 0.32417$ ГПа, $n = 0.2183$, 0.0011. Моделировался процесс эластоформования при различных

давлениях до уровня 30 МПа, 80 МПа (что ниже максимума давления промышленных прессов эластоформования на сегодняшний день в 100 МПа) и расчет показал, что в критической зоне параметры формообразования в допустимых требованиях по КД. Анализ конструкции элементов оснащения проводился в средстве инженерного анализа NASTRAN методом конечных элементов.

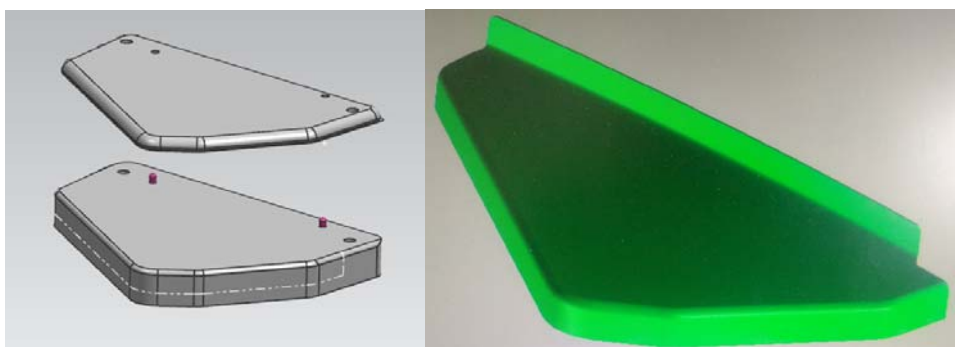


Рис. 3 Общий вид формблока для формообразования, общий вид листовой детали

На рисунке 4 представлены фрагменты этапов моделирования КЭА модифицированного оснащения.

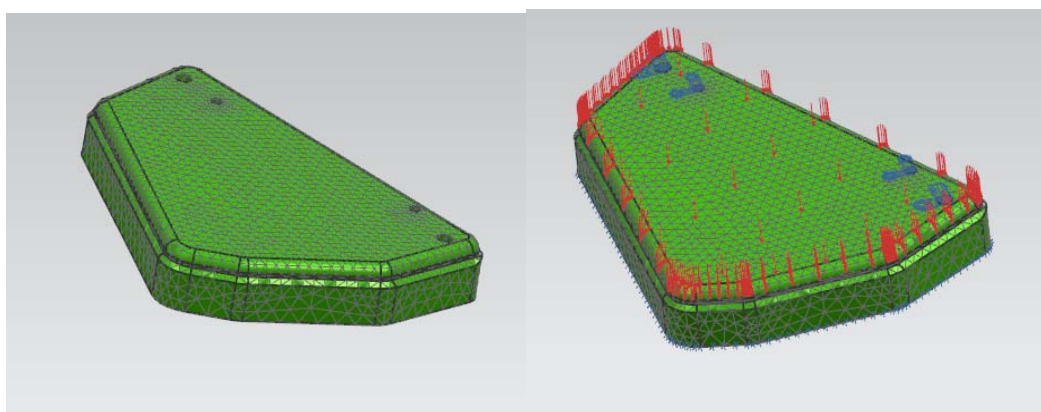


Рис. 4 Фрагменты этапов моделирования КЭА модифицированного оснащения

Были смоделированы нагрузки для образца формблока из пластика PET-G. На рисунке 5 приведен анализ распределения перемещений, анализ напряжений на модифицированном оснащении для формообразования

листовой детали. Распределение перемещений находится в допустимом диапазоне. Распределение напряжений находится в допустимом диапазоне. Анализ напряжений находится в допустимом диапазоне (до 43 МПа).

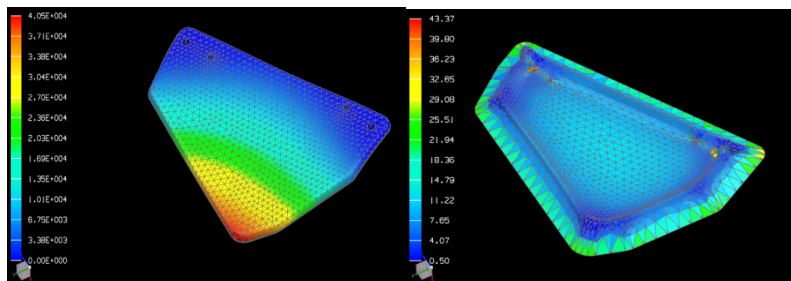


Рис. 5 Результаты конечно-элементного анализа модифицированного оснащения (анализ перемещений, анализ напряжений)

При степени заполнения пластика 70% были усилены ребра жесткости с целью исключения замятия пластика и складок в радиусных зонах. На рисунке 6 представлена зависимость давления эластичной среды от габаритного параметра формблока.

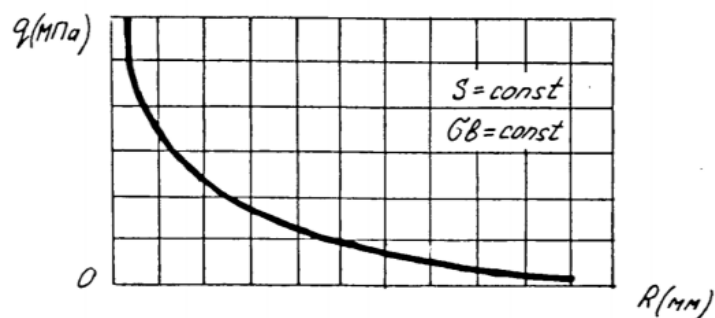


Рис.6 Зависимость давления эластичной среды от диаметра формблока[2]

Минимальный радиусгиба, при котором заготовка изгибается не разрушаясь, можно установить на основе критерия разрушения Колмогорова[2]:

$$r_{min} = S \frac{1-0.5(1-\psi_u)^t}{(1-\psi_u)^{t-1}}$$

$$t = -2\sqrt{1 - \mu^2} \exp\left[\frac{-0.72(1+\mu)}{\sqrt{1-\mu^2}}\right]$$

где $\Psi_{ш}$ – относительное сужение в момент образования шейки образца при линейном растяжении

Угол пружинения при гибке равный разности между углами инструментальной оснастки и детали определен[2]:

$$\Delta\alpha = \alpha_{ин} \frac{3}{2 + \pi} \frac{K_Q'}{E} \left(\frac{2\rho_{ин}}{S}\right)^{1-n}$$

Выводы

Таким образом, было проанализировано оснащение, изготовленное из металлического сплава и изготовленное из полимеров. При анализе проделанной работы установлено, что при степени заполнения пластика 70% и усиления ребер жесткости с целью исключения замятия пластика и складок в радиусных зонах при использовании пластика PET-G необходимые параметры были выдержаны. Данный полимер прочность при растяжении 34 МПа, прочность на изгиб – 76 МПа, плотность 1,24, относительно высокая межслойная адгезия. Оптимальный диапазон температуры экструзии – 230-240 градусов Цельсия.

При рассматриваемых параметрах оснастки и способе изготовления деталей возможно обеспечение жестких требований к деталям на этапе выполнения клепально-сборочных работ над компонентами при существующих подходах к технологической подготовке производства. Также снижается металлоемкость с учетом оптимизации стоимости, сокращается цикл подготовки производства при соответствующем уровне качества

При производстве методом FDM печати оснастки из конструкционных пластиков, практически отсутствуют отходы, в то время как цикл изготовления традиционных конструкций включает в себя фрезерование припуска на рабочей поверхности и базовой нижней поверхности, устанавливаемой на раму или плиту. Отходами при FDM печати являются как правило являются поддержки, необходимые для качественной печати выступающих фрагментов конструкций.

Использование аддитивных технологий при изготовлении СТО позволило решить поставленные задачи и изготовить листовые детали, соответствующие требованиям КД с сохранением достаточно низкой себестоимости, несмотря на отсутствие опыта и при условиях единичного производства.

Библиографический список

1. Вольсков Д.Г., Пospelова Е.А., Грибков А.Н., Куркин И.А. Решение задачи оптимизации основных параметров самолета численным методом
Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2014. № 3 (53). С. 46-55.
2. Гречников Ф.В. Штамповка листовых деталей летательных аппаратов с применением эластичной среды / СГАУ – Ф. В. Гречников, И. П. Попов, К. А. Николенко – Самара, 2010. – 17 с.
3. Горбунов М.Н. Технология заготовительно-штамповочных работ в производстве самолетов/ М.Н.Горбунов// М.: Машиностроение. 1981. – С.224
4. Исаченков Е.И. Штамповка резиной и жидкостью. М.: Машиностроение, 1967. 367 с.
5. Кудряшов В.А., Лапышев А.А. Создание аддитивных технологий с учетом усталостного поведения в авиационном инжиниринге // Известия

Самарского научного центра Российской академии наук, т. 20, № 4(3), 2018, с.406-413.

6. Мироненко В.В.Формообразование подсечек на листовых деталях с применение подвижного прижима – Труды МАИ. - № 104, 2019. – 21 с.

7. Методика расчета режима исследования антифрикционных свойств покрытий обтяжных пуансонов / Ривин Г.Л., Карпухин Е.Г., Кошкина А.О., Дмитриенко Г.В. // Известия самарского научного центра российской академии наук Том: 20 Номер: 4-3 (84) Год: 2018, с. 414-416

8. Bobarika I., Demidova A., Bukhanchenko S. Hydraulic Model and Algorithm for Branched Hydraulic Systems Parameters Optimization // Procedia Engineering. International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017, Saint-Petersburg, 2017, pp. 1522 - 1527.

9. Shahrai S.G., Sharypov N.A., Polyakov P.V., Kondratiev V.V., Karlina A.I. Quality of anode. Overview of problems and some methods of their solution Part 2. Improving the quality of the anode // International Journal of Applied Engineering Research, 2017, no. 21, pp. 11268 - 11278.

УДК 621.73: 621.98

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ В SIEMENS NX****Почекуев Е.Н.¹, Власов А.А.²**

1 – к.т.н., доцент кафедры «Сварка обработка металлов давлением и родственных процессов» ТГУ, г. Тольятти.

2 – магистр 2 года кафедры «Сварка обработка металлов давлением и родственных процессов» ТГУ, г. Тольятти.

Аннотация. В статье представлены результаты автоматизированного проектирования технологии листовой последовательной штамповки в среде Siemens NX на примере изделия «Усилитель».

Ключевые слова: листовая штамповка, технология, заготовка, раскрой, полоса, усилие, центр давления.

**DESIGN OF TECHNOLOGY PROGRESSIVE PROCESS SHEET
STAMPING IN SIEMENS NX****Pochekuev E.N.¹, Vlasov A.A.²**

1 - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Welding, metal forming by pressure and related processes" TSU, Togliatti.

2 - Master of 2 years of the Department "Welding, metal forming by pressure and related processes" TSU, Togliatti.

Abstract. The article presents the results of computer-aided design of the sheet metal progressive stamping technology in the Siemens NX environment using the example of the part "Support".

Keywords: sheet stamping, technology, blank, cutting, strip, force, center of pressure.

Разработка технологического процесса последовательной штамповки – один из главных периодов в технологической подготовке новой продукции. Он является очень трудоемким и важным для проектирования и производства сложной оснастки – последовательного штампа. Автоматизация проектирования в приложении мастер проектирования штампов последовательного действия (МПШПД) Siemens NX сокращает время технологической подготовки, повышает качество проектов и степень их унификации и нормализации.

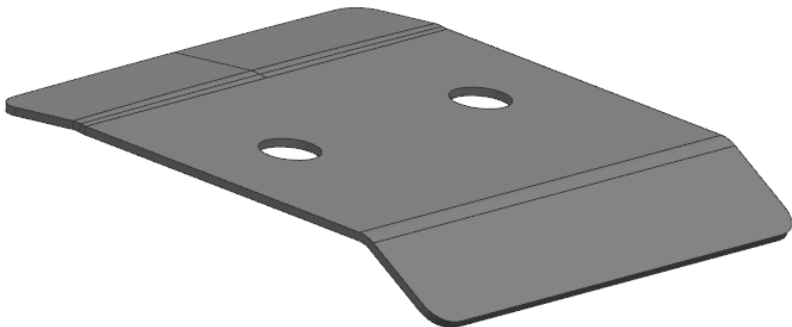
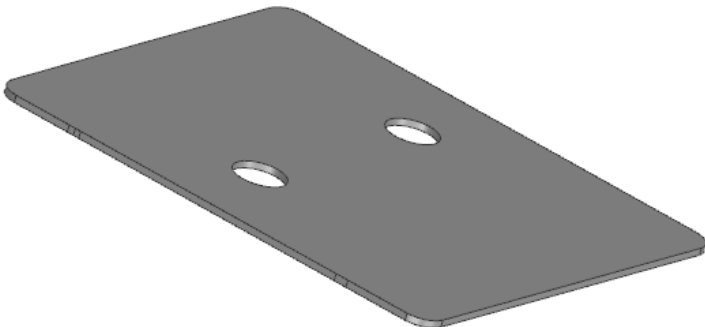
Цикл разработки технологии последовательной листовой штамповки состоит из нескольких этапов. На первом этапе технолог выполняет подготовительные работы в приложении МПШПД:

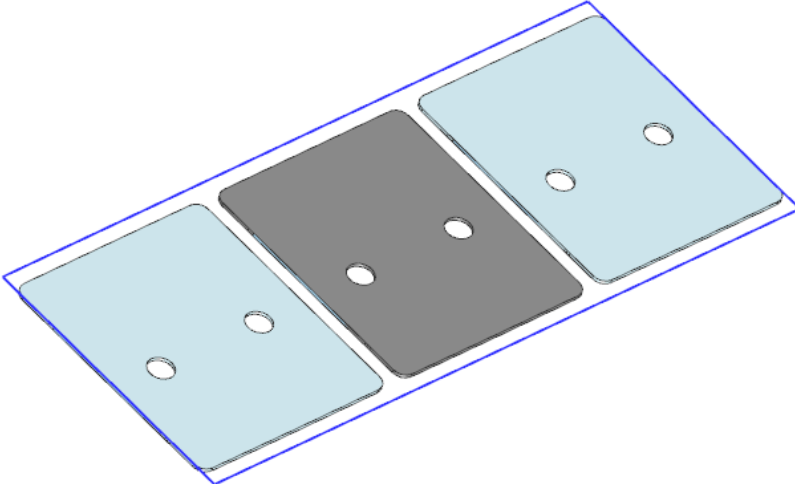
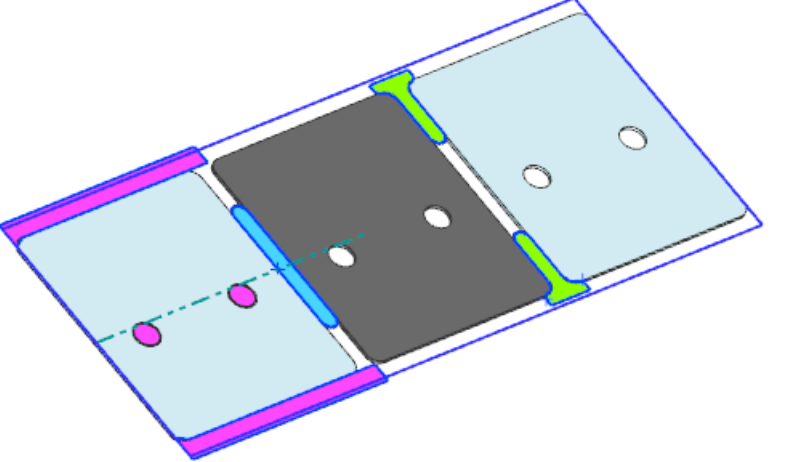
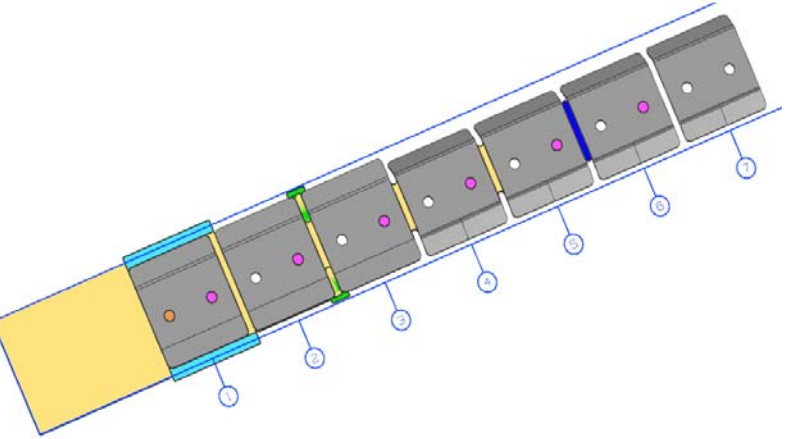
- Устанавливает места изгиба заготовки;

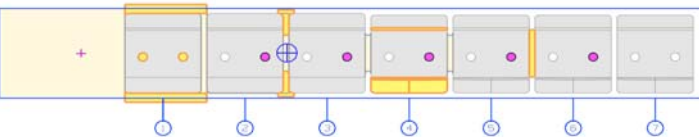
- Распознает элементы детали, полученные разделительными и формообразующими операциями;
- Задаёт тип материала изделия и его свойства;
- Определяет величину смещения нейтрального слоя;
- Строит заготовку;
- Назначает последовательность и число операций в ленте.

Второй этап состоит из последовательности действий предписанных панелью инструментов МПШПД NX (табл.1)

Таблица 1. Последовательность разработки технологического процесса в МПШПД NX

№	Наименование работ в МПШПД NX	Вид результата работы
1.	Создание проекта и сборки изготовления детали «Усилитель» (Материал ст.08Ю ГОСТ 9045-93, толщина 1,5 мм)	
2.	Генерирование заготовки в сборке (Размеры заготовки находились с помощью функционалов NXи МПШПД)	

3.	Разработка раскроя полосы (Однорядный раскрой ленты. Ширина ленты 120 мм. Величина коэффициента использования материала 83%, минимальный размер перемычки 7 мм)	
4	Проектирование отходов (Фиолетовым, синим и зеленым цветом указаны отходы. Позиции расположения отходов задаются в процессе создания полосы)	
5	Создание полосы последовательной штамповки (Количество позиций последовательного штампа – 7	

6	Расчет усилия штамповки и центра давления Расчет усилия штамповки Список процессов - SCRAP_0:[1,1,1] - SCRAP_1:[2,1,1] - SCRAP_2:[3,1,1] - SCRAP_3:[4,1,1] - SCRAP_4:[5,1,1] - SCRAP_5:[6,1,1] - SCRAP_7:[7,1,1] - Bending7:[0,0,0] - Angular_emboss8:[0,0,0] Задать новый процесс Вычисление ✓ Выбрать процесс (14) <table><tr><td>Усилие процесса:</td><td>301258.840[N]</td></tr><tr><td>Усилие съема:</td><td>24662.040[N]</td></tr><tr><td>Периметр резания</td><td>562.600[mm]</td></tr><tr><td>Центр тяжести:</td><td>X:251.069 Y:0.484 Z:-0.050</td></tr></table>	Усилие процесса:	301258.840[N]	Усилие съема:	24662.040[N]	Периметр резания	562.600[mm]	Центр тяжести:	X:251.069 Y:0.484 Z:-0.050	 Крестик в окружности указывает место центра давления штампа
Усилие процесса:	301258.840[N]									
Усилие съема:	24662.040[N]									
Периметр резания	562.600[mm]									
Центр тяжести:	X:251.069 Y:0.484 Z:-0.050									

Выводы

1. Приложение МПШПД позволяет на 40% сократить время разработки нового технологического процесса.
2. Общее усилие деформирования в последовательном штампе составило 325921 Н. Положение центра давления в локальной системе координат $x \approx 251$ мм, $y \approx 0,5$ мм

Библиографический список

1. Почекуев Е.Н., Путеев П.А., Шенбергер П.Н. Проектирование штампов для последовательной листовой штамповки в системе NX – М.: ДМК Пресс, 2012 – 336 с.

Секция 4

«Гуманитарные науки в авиационно-космических технологиях»

**СЕНАТОРОВА О. Г. ОБ АКАДЕМИКЕ РАН ФРИДЛЯНДЕРЕ.
ФРИДЛЯНДЕР И.Н. О НАУКЕ, ПРАКТИКЕ, ИСТОРИИ
Марковцева О. Ю.**

д. филос. н., директор «Центра социально-этнических исследований» (НИИ «МИТОМ», г. Ульяновск)

Аннотация. В статье дается краткий обзор воспоминаний Сенаторовой О.Г. об академике РАН Фридляндере И.Н., с которым более пятидесяти лет сотрудничала в рамках деятельности ВИАМа. Одновременно излагаются некоторые факты деятельности академика Фридляндера И.Н., связанные с технологиями развития российской авиационно-космическими программами.

Ключевые слова: авиация, космос, российская наука, самолетостроение, алюминиевые сплавы, ВИАМ, история авиации.

**SENATOROVA O. G. ABOUT ACADEMICIAN OF THE RUSSIAN
ACADEMY OF SCIENCES FRIEDLANDER.
FRIEDLANDER I. N. ON SCIENCE, PRACTICE, AND HISTORY
Markovtseva O. Yu.**

Doctor of Philosophy, Director of the Center for Social and Ethnic Studies (MITOM Research Institute, Ulyanovsk)

Abstract. The article gives a brief overview of Senatorova O. G.'s memoirs about the academician of the Russian Academy of Sciences Friedlander I. N., with whom she collaborated for more than fifty years in the framework of VIAM activities. At the same time, some facts of the activity of Academician Friedlander I. N. related to the development technologies of the Russian aerospace programs are presented.

Keywords: aviation, space, Russian science, aircraft construction, aluminum alloys, VIAM, aviation history.

В данной статье была поставлена задача представить краткий обзор монографии Ольги Григорьевны Сенаторовой «Воспоминания об академике РАН Фридляндере И.Н. и его последователях» (Москва, 2017 г.).

В «Предисловии» к этой книге Сенаторова О.Г. отмечает, что в НИО «Легкие сплавы. Алюминиевые деформируемые сплавы и композиционные слоистые материалы» ВИАМ с академиком РАН Фридляндером И.Н. сотрудничала в течение 55 лет «от инженера до кандидата технических наук, доцента, Лауреата двух Государственных премий» [1; 5].

Авторитет, академический высший профессионализм Фридляндера И.Н. — эти качества руководителя Научно-исследовательского отделения (НИО), а также руководящий состав непосредственных коллег — руководителей

секторов, отделов предопределили метафорический образ данной структуры института, спонтанно возникший у автора книги, – «империя» (ВИАМа). Здесь не трудно догадаться, кто исполнял функцию «императора». «Отделение обладало большим комплексом различных исследовательских задач, начиная от искусства приготовления шлифов... и кончая электронными микроскопами...» [Там же; 9]. Однако образование ВИАМа – одного из ведущих отраслевых институтов производственно-экономических, научных, аэрокосмических направлений нашего государства – осталось без внимания Ольги Григорьевны. Между тем, чтобы представить мощь, авторитет и вклад академика РАН Фридляндера И.Н., необходимо кратко описать историю создания ВИАМа и ЦАГИ. В собственных «Воспоминаниях» академик описывает данное событие и косвенно отмечает *связь и преемственность* различных структурных подразделений в авиакосмической и атомной технике данного сектора в структуре общей государственной политики. В главе «Юбилей фирмы Туполева. Как создавались ЦАГИ и ВИАМ» Фридляндер И. Н. пишет: «22 сентября в Кремлевском Дворце торжественное заседание по поводу 50-летия Фирмы Туполева. В ВИАМ прислали четыре билета, в том числе и мне. ...В 5 часов появляется А. Н. Туполев, президиум бурно приветствует его... потом слово для доклада предоставляется Туполеву. Общая овация. Говорит Туполев сидя, но голос сильный и звонкий: «Я хочу вам сказать, как был решен вопрос о ЦАГИ, куда входило на первых порах КБ Туполева. Пришли мы с Н. Е. Жуковским к Горбунову, который ведал вопросами науки в ЦК. ...Горбунов позвонил Ленину: «Пришел Жуковский со своим молодым помощником, спрашивает о судьбе их докладной записки об организации научного центра по авиации». Ленин ответил, что поддерживает эту идею. Мы очень обрадовались, попрощались с Горбуновым и вышли». [2; 121]. В дальнейшем один из отделов ЦАГИ выделился ВИАМ. «Возникновение ВИАМа не было случайным. В те годы интенсивно развивалось советское

самолетостроение – действовали конструкторские бюро Туполева, Ильюшина, Лавочкина, Яковлева и др. Туполев вместе с Сидориным (технический директор ВИАМ, профессор И.И. Сидорин. – О.М.) возглавили борьбу за освоение советского алюминиевого сплава дуралюмина» [2;13]. «В ВИАМе меня направили в лабораторию алюминиевых сплавов».

Сенаторова О. Г. описывает стиль руководства Фридляндера И.Н. непосредственного научно-производственного сектора, выделяя такие качества как *учет коллективного мнения по поводу решения рабочих задач* («Иосиф Наумович брал, как правило, на технические совещания, обсуждения, встречи по различным вопросам... большую «компанию» специалистов НИО; *параллельное и комплексное решение актуальных задач НИО*»), и другие, способствующие успешной коллективной деятельности.

Далее в воспоминаниях Ольга Григорьевна кратко указывает персональный вклад сотрудников отделений при решении задач, связанных с новыми разработками сплавов типа дуралюминий [1; 10 – 12]. Академик Фридляндер И.Н. в своих воспоминаниях подробно описывает историю создания разных образцов таких сплавов, их химический состав, физические свойства, отличия, а также собственный вклад в теорию и практику создания высокопрочных алюминиевых сплавов. При этом отмечает, что «В этих работах мне творчески помогали Е. И. Кутайцева, З. Г. Филиппова, И. И. Молостова, В. И. Исаев, О. Г. Сенаторова». [2; 39].

Сенаторова О. Г. специально выделяет работу, связанную с «использованием самого прочного сплава В96ц (1960 г.) в атомной технике, возглавлял» лично Фридляндер И. Н. Результатом этой важной работы стали награды: Ленинская Государственная премия (1963г.), Государственная премия Совета Министров СССР (1990 г.) [1; 12]. Что академик Фридляндер И. Н. пишет об этих фактах? «...сплав В96ц – самый прочный в мире, из которого изготавливаются миллионы центрифуг для получения обогащенного урана 235, идущего на изготовление бомб и на атомные

электростанции в качестве топлива. Несколько позднее был разработан сплав В96ц-3, из которого в годы «холодной войны» изготавливали в массовом порядке твердотопливные ракеты среднего радиуса действия.... Состав сплава В96ц-3 был опубликован в советском журнале «Металловедение и термическая обработка» (МиТОМ), выходящих на русском и английском языках. Американский сплав 7055 появился значительно позднее, его состав повторяет состав сплава В96ц-3, лишь содержание меди изменено...». [2; 52]. На торжественном заседании «ВИАМа», посвященного празднованию 90-летия И.Н. Фридляндера, академик сказал: «Есть, товарищи, уран 235, по которому Россия обошла весь мир. ...мы создали с помощью многих великих людей из атомной промышленности наш знаменитый сплав В96ц, который по сегодняшний день остается самым прочным в мире и имеет прочность стали при удельном весе алюминия» [2; 261].

Далее О.Г. Сенаторова пишет: «Длительное время (с 1994 по 2008 г.г.) академик И.Н. Фридляндер от РАН России был членом Международного Комитета Международной конференции по алюминиевым сплавам (ICCA), вместе с известными зарубежными учеными Е.А. Starke, Т.Н. Sanders, J. Hirsch и др. ...Вместе со своими специалистами (3 – 5 человек) и переводчиками (Капитанская Т. П. и др.) он постоянно участвовал (последний раз в Кембридже в 2002 г., Великобритания) в этой систематической (через 2 года), престижной и главной конференции по алюминиевым сплавам» [Там же]. Судя по фотографическому материалу, представленному в монографии Сенаторовой О.Г., академик Фридляндер И. Н. сотрудничал с А. Гинье (A. Guiner), который на распечатке своего доклада «Рождение зон ГП (Генье –Престона)» на ICAA-5в 1996 г. поставил подпись, подарив этот научный материал российскому коллеге-академику.

На конференции в Кембридже (2002 г.) на пленарном заседании доктор т.н. Фридляндер И. Н. прочел доклад «Российские алюминиевые сплавы для авиакосмической техники. История и перспективы». Академик вспоминает:

«Доклад имеет успех. Профессор Старке просит меня расширить доклад и направить его в американский журнал «Легкие сплавы»» [2; 243].

В завершающей части «Воспоминаний» о Фридляндере И. Н. и коллегах Сенаторова О. Г. написала: «Свое отношение к И. Н. Фридляндеру... коллектив НИО выразил в своих поздравлениях его с 90-летием, а затем с 95-летием, написанные мною. Оба юбилея были торжественно отмечены отделением РАН и Отраслями промышленности во ФГУП «ВИАМ». [1; 20].

Фридляндер И. Н. в собственных «Воспоминаниях о создании авиакосмической и атомной техники из алюминиевых сплавов» подробно описывает процедуру празднования своего 90-летия. После прочтения этой главы его книги, становится понятным, что данное событие – не только дань глубокого уважения к личности юбиляра. Данное событие носило государственный, международный, научно-практический характер. Открыл юбилейный форум Е. Н. Каблов: «Сегодня у нас проходит расширенное заседание нашего института с участием гостей, которые приехали из многих городов Российской Федерации, ближнего и дальнего зарубежья». В адрес академика Фридляндера И. Н. были зачитаны приветственные телеграммы от Президента РФ В. В. Путина: «...Вы внесли значительный вклад в развитие отечественной науки. Разработанные Вами уникальные авиационные материалы способствовали решению важнейших производственных и оборонных задач. А созданная Вами научная школа получила мировое признание...», от президента РАН Ю. С. Осипова, поздравление от академиков и руководителей промышленности страны. [2; 255]. Иосифа Наумовича лично поздравили академики РАН Лякишев Н. П., Решетников Ф. Г., Кузнецов Ф. Г., Саркисов П. Д. и др. На юбилей с поздравлениями приехали также Зам. Генерального конструктора КНААПО (Комсомольск-на-Амуре), представители от фирмы А. С. Яковлева, Микояна Е. Г., «Эрбас» (Р. Форстер), доктор Рао (г. Оттобрун, Германия), представитель от

Межгосударственного авиационного комитета (А. Я. Книвель), от Минатома (Е. И. Микерин и др.) [2; 254 – 264].

Со свойственным Иосифу Наумовичу юмором он заключает: «В духе мюнхенского «Октобер фест»¹ гости направляются в банкетный зал, но мощную конкуренцию пиву создает захоложенная русская водка» [Там же].

Завершить данную статью, предметом которой стали не только обзор материалов «воспоминаний» Сенаторовой О. Г. об академике РАН Фридляндере И. Н., истории «ВИАМа», мы хотели бы краткими тезисами, сформулированными на основе научного доклада академика Фридляндера И. Н., прочитанного на Президиуме РАН 13.04.04 г. «Алюминиевые сплавы в создании авиаракетной и ядерной техники». Почему это важно? Потому что до настоящего времени то, что достигнуто в области разработок алюминиевых сплавов основывается на тех сложных разработках, к которым непосредственно был причастен Фридляндер И. Н. и его коллеги.

Тезис 1. «Алюминиевые сплавы являются основным конструкционным материалом в самолетах, ракетах, ядерной технике. Мы ведем работы в этих трех направлениях.» [2; 264].

Тезис 2. «В 1911 г., в Германии Альфредом Вильмом было установлено, что если сплав, содержащий 4% меди и 0,5% магния, закалить и оставить вылеживаться на воздухе, его прочность существенно повышается.» [Там же].

Тезис 3. «...мы смогли создать группу очень хороших высокопрочных сплавов. Сплавы В95, В96ц-3 и особо прочный сплав В96ц». [2; 265].

Тезис 4. «Мы создали...впервые в мире технологическую установку, при которой десять слитков небольшого диаметра отливались одновременно, непрерывным методом с непосредственным охлаждением водой. При этом получалась диспергированная структура, и все напасти с концевыми

¹ Традиционный осенний праздник пива в Германии.

детальями закончились. Вместо того чтобы центрифуги работали 10 лет, мы достигли нового срока – 30 лет» [2; 268].

Тезис 5. «...сейчас вокруг урановой проблемы крутится, можно сказать, вся мировая политика» [Там же].

Тезис 6. «В 1965 г. Фридляндер с сотрудниками опубликовали открытие эффекта упрочения в тройной системе Al-Li-Mg и получили диплом на открытие сверхлегкого коррозионностойкого свариваемого сплава 1420. Из этого сплава построили самолеты вертикального взлета с ядерными зарядами Як38. Из этого же сплава построили ядерные ракеты КБ академика В. П. Макеева, запускаемые с подводных лодок. [2; 270].

Из этого же сплава создали впервые в мире сварной сверхзвуковой истребитель МиГ29. Это сейчас один из самых совершенных истребителей, удалось снизить вес конструкции на 24% и установить дополнительное вооружение

За все эти работы по сплавам алюминий – литий – магний мы получили Государственную премию Российской Федерации». [2; 270].

Тезис 7. «Вот важнейший этап в развитии гражданской авиации. ...Для того чтобы разгрузить небо и аэропорты, выпускаются очень большие самолеты... В связи с этим к алюминиевым сплавам появились новые требования. Они должны быть вязкими, нехрупкими и т.д. Но алюминиевые сплавы – и наши, и американские путем режима старения, за счет снижения содержания примесей оказались достаточно надежными». [Там же].

Тезис 8. «...гидросамолет Бе200 фирмы Г. М. Бериева. Очень модный самолет, он предназначен для тушения пожаров. ...Этот самолет сделан целиком из нашего алюминиево-литиевого сплава 1441». [2; 271].

Тезис 9. «...самая мощная ракета-носитель Энергия. Академики В. П. Глушко и Ю. П. Семенов доложили в свое время Политбюро, что они готовы создать ракету, которая будет не хуже американских Шаттлов ... Для этих условий...мы создали 1201 – сплав , который в результате понижения

температуры упрочняется на 60%, одновременно повышается и пластичность». [Там же ; 270].

Тезис 10. «Советские (российские) алюминиевые сплавы за десятилетия своей истории прошли блистательный путь своего развития. ...Накопленный опыт показывает, что только постоянный и мощный прогресс алюминиевых сплавов обеспечил важнейшим изделиям авиационной, ракетной и ядерной технике лидирующее положение в мире». [2; 272].

Библиографический список

1. Сенаторова, О. Г. Воспоминания об академике РАН Фридляндере И.Н. и его последователях / О. Г. Сенаторова. Москва, 2017. 96 с.
2. Фридляндер, И. Н. Воспоминания о создании авиакосмической и атомной техники из алюминиевых сплавов / И. Н. Фридляндер. М.: Наука, 20005. 275 с.

ББК 21.2

**ИНСТРУМЕНТАРИЙ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ****Махитко В.П.¹, Чекаев Ю.Ю.²***1 – профессор каф. ОАДиИТ УИ ГА им. Главного маршала авиации Б.П.Бугаева,
г. Ульяновск.**2 - конструктор ЗАО «Авиастар», аспирант каф. ОАДиИТ УИ ГА им. Главного маршала
авиации Б.П.Бугаева, г. Ульяновск*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы совершенствования информационно-методической базы для принятия конструкторско-технологических решений, необходимость выработки и постоянного анализа эффективности которых сопровождает процесс создания воздушных судов на всех его этапах и стадиях.

Ключевые слова: конструкторско-технологические решения, методы проектирования, процессы производства.

**TOOLKIT FOR DESIGN AND TECHNOLOGICAL
AIRCRAFT DESIGN SOLUTIONS****Makhitko V.P.¹, Chekaev Yu.Yu.²***1 - professor of the department. OADiIT UI GA them. Chief Marshal of Aviation B.P. Bugaev,
Ulyanovsk.**2 - designer of JSC "Aviastar", post-graduate student of the department. OADiIT UI GA them.
Chief Marshal of Aviation B.P. Bugaev, Ulyanovsk*

Abstract. The article discusses the issues of improving the information and methodological base for making design and technological decisions, the need to develop and constantly analyze the effectiveness of which accompanies the process of creating aircraft at all its stages and stages.

Key words: design and technological solutions, design methods, production processes.

Создание инструментария для конструкторского и технологического проектирования авиационных конструкций является актуальной задачей современного отечественного авиастроительного комплекса. За предыдущие годы был создан информационно-методический базис конструирования и технологий авиастроения. Существует достаточный массив методических разработок для дальнейшей работы по формализации оценок конструкторско-технологических решений (КТР). Однако, часть методических разработок, которая касается количественных оценок параметров и характеристик КТР, требует адаптации к информационным технологиям (ИТ) проектирования.

Технологическое проектирование направлено на создание новых эффективных изделий, обеспечивающих производственно-технологические процессы. В результате разработки эффективных КТР должна обеспечиваться высокая технологичность конструкции изделия (ТКИ), что позволит изготавливать изделие с наиболее оптимальными затратами труда, средств, материалов и времени и, при этом, сохранять такие же оптимальные затраты на всех последующих этапах его жизненного цикла (ЖЦ).

Компьютерное технологическое проектирование воздушных судов (ВС), являясь составной частью компьютерного проектирования, основывается на информационном базисе, адаптированном к компьютеризованным условиям, и может иметь в качестве инструмента систему интеллектуальной компьютеризованной оценки организационно-производственных и конструкторско-технологических решений, названную системой экспертных оценок (СЭО) [3].

Создание технологий автоматизированного конструирования и технологической подготовки производства (ТПП) подразумевает наличие подготовленного инженерно-технического персонала. При существующем уровне вузовской подготовки инженеров и технологов в области информационных технологий освоение предприятиями сложных CAD/CAM/CAE-систем, CALS – систем, верхнего уровня связано большими временными и денежными затратами. Поэтому основная задача авиационных предприятий в области ИТ состоит в том, чтобы поднять компьютерную культуру инженерно-технического и управленческого персонала с помощью более доступных и дешевых отечественных систем и тем самым обеспечить необратимость использования компьютерных технологий в основной деятельности предприятий.

Главной задачей предприятий является создание «критической массы» автоматизированных рабочих мест (АРМ), укомплектованных необходимым программным обеспечением и специалистами, подготовленными для работы

с новыми ИТ. Эти рабочие места должны быть распределены по всей цепочке подразделений, занятых в проектировании, производстве и эксплуатационной поддержке.

Проблема создания «критической массы» АРМ крайне важна, так как только при работе большого количества инженеров и технологов над одним проектом выявляется ряд организационно-технических проблем, решение которых обеспечивает эффективность информатизированного производства.

При отсутствии «критической массы» РМ, оснащенных программно-техническими средствами и средствами информационной поддержки, можно поднять производительность труда отдельных этапов проектирования и подготовки производства, но выигрыш в конечном результате будет минимальным.

На сегодняшний день предприятия, производящие АТ, имеют разный уровень оснащения программно-техническими средствами, поэтому несогласованность тех или иных решений в проектировании приводит к различным ошибкам как среди конструкторов, так и среди технологов.

Появление ошибок в конструкторской документации обусловлено, как правило, определенными мотивами. По признакам возникновения ошибки могут быть мотивированные или немотивированные.

Мотивированные ошибки имеют определенную базу возникновения. Они как бы имеют логическое обоснование для их возникновения, связанное с незнанием или рассеянностью разработчика. Мотивированные ошибки могут быть связаны также с масштабом чертежа. Чаще всего размеры проставляются по натуральной величине чертежа, хотя изображение выполнено в увеличенном или уменьшенном масштабе.

Немотивированными ошибками называют случайные ошибки, которых никак нельзя объяснить. При оценке влияния ошибок необходимо рассмотреть конструкцию в неразрывной связи ее с целевым назначением и применением. Здесь значение имеют такие факторы, как серийность выпуска

изделия, ответственность конструкции и др. Анализ ошибок показывает, что ошибки имеют относительный характер, зависящий не только от объективных факторов, но и от опыта и квалификации эксперта, который определяет ошибку. Изделия, разработанные для изготовления в единичном производстве, будут ошибочными для серийного выпуска и наоборот.

Контроль конструкторской документации может существенно повлиять не только на качество документации (эту цель в большей степени преследует нормализованный контроль), но и на качество изготавливаемого изделия. Контроль конструкторской документации позволяет выявить неточности, погрешности и ошибки в конструкции, которые могут вызвать снижение качества или брак изделия, изготавливаемого по проверяемой конструкторской документации.

Не выявленные при конструкторском контроле ошибки устраняются в процессе испытания и непосредственно в процессе производства. О числе этих допущенных ошибок и упущений свидетельствует число изменений, вносимых в конструкторскую документацию после ее утверждения. На основе анализа извещений об изменениях в конструкторской документации можно судить о видах ошибок, пропущенных контролерами, и причинах их возникновения (основные причины ошибок, являющихся причиной выпуска извещений об изменениях, в процентах от общего числа ошибок) [2]:

- ✓ неглубокая предпроектная проработка документации — 30 %;
- ✓ небрежность и невнимательность в работе исполнителей — 14 %;
- ✓ отсутствие проверочных расчетов на прочность, надежность — 12 %;
- ✓ применение оригинальных деталей и узлов при наличии стандартных (низкий коэффициент унификации) — 11 %;
- ✓ неполное соответствие конструкторских работ техническому заданию — 7 %;
- ✓ несоответствие методик испытаний реальным условиям эксплуатации — 6 %;

- ✓ плохой контроль работы исполнителей ввиду неритмичной работы — 6 %;
- ✓ низкая квалификация разработчика — 5 % и др.

Отработка конструкции на технологичность и технологический контроль конструкторской документации — звенья одного и того же процесса. Технологичность изделия заложена в конструктивное исполнение отдельных деталей и узлов изделия, в их геометрической форме, свойствах поверхностей, материале и т. д. Поэтому устранение ошибок и недоработок технологического характера требует больших трудозатрат и порой вызывает существенную переработку всей конструкторской документации. Чтобы отработка на *технологичность* конструкторской документации проводилась последовательно и систематически, технологический контроль необходимо проводить на всех стадиях разработки, что позволяет достичь наилучших результатов.

На стадии *технического предложения* проверяется правильность выбора варианта конструктивного решения в соответствии с требованиями технологичности.

На *стадии эскизного проекта* проверяется:

- ✓ правильность выбора принципиальной схемы конструкции, обеспечивающей простоту компоновки изделия и технологичность;
- ✓ рациональность конструктивных решений с точки зрения простоты изготовления;
- ✓ обеспечение преемственности конструкции;
- ✓ правильность расчленения изделия на составные части, обеспечивающие удобство обслуживания, монтажа и регулировки и т. д.

На стадии *технического проекта* проверяется:

- ✓ возможность проведения сборки и контроля изделия и его основных составных частей независимо и параллельно;

- ✓ удобство и доступность мест сборки;
- ✓ возможность исключения или доведения до минимума механической обработки при сборке;
- ✓ возможность обеспечения необходимой взаимозаменяемости сборочных единиц и деталей;
- ✓ выбор элементов конструкции сборочных единиц (основных составных частей) с точки зрения их технологичности и т.д.

Технологический контроль рабочей конструкторской документации выясняет следующие вопросы:

- ✓ технологичность деталей в зависимости от технологичности сборочных единиц; технологичность сборки как изделия в целом, так и его составных частей (в том числе сварных конструкций);
- ✓ технологичность механически обрабатываемых, литых, горячештампующих, холодноштампующих и термически обрабатываемых деталей;
- ✓ возможность разделения сборочной единицы на составные части, сборку которых целесообразно производить параллельно;
- ✓ наличие сборочных баз; удобство сборки и разборки;
- ✓ возможность уменьшения числа и объема пригоночных операций.

На стадии разработки рабочей конструкторской документации проверяется выполнение технологических рекомендаций, данных на предыдущих стадиях разработки изделия.

Не существует принципиальных ограничений к применению различных методов сравнения и выбора вариантов КТР. Модификация методов в прикладные методики путем разработки соответствующих процедур и операций обеспечивает возможность их практического использования в автоматизированной системе экспертных оценок (АСЭО).

Примером компьютерного конструкторско-технологического проектирования воздушного судна может служить создание базового

транспортного самолета Ил-476, порученное в соответствии с решением Министерства обороны РФ и Объединенной самолетостроительной корпорации (ОАК) ЗАО «Авиастар-СП».

Основной особенностью производства Ил-476 является то, что на производство ставится изделие, спроектированное несколько десятилетий назад и находящееся в производстве и эксплуатации длительный период времени. При запуске этого изделия изначально ставилась задача минимального внесения изменений в конструкцию для исключения этапа по сертификации типа воздушного судна. Анализ требований, установленных проектом, показал, что производство «старой» конструкции на основе устаревших традиционных технологий в современных экономических условиях экономически невыгодно и технически в приемлемые сроки нереализуемо, так как:

- ✓ циклы плазовой провязки, изготовления шаблонов, контрольно-эталонной и рабочей оснастки могут значительно превышать директивные сроки с учетом того обстоятельства, что предприятия-изготовители испытывают острую нехватку специалистов, способных выполнять эти работы.
- ✓ информация, получаемая от ведущих аэрокосмических компаний мира (мировых лидеров), а также опыт реализации проекта создания Российского регионального самолета RRG показывает, что переход на информационные технологии проектирования в производстве является единственно возможным средством обеспечения конкурентоспособности изделий АТ.
- ✓ электронные и информационные методы управления производством позволяют применить высокоскоростные методы обработки и значительно снизить или вообще исключить подгоночные работы при сборке, что позволяет существенно снизить трудоемкость и цикл изготовления изделий.

Создание инструмента ИТ для проектирования, в том числе технологического, является задачей трудоемкой и методически сложной, особенно для ранних этапов проектирования, но вполне реальной для реализации в условиях современной авиастроительной корпорации -ОАК. Важнейшая компонента конструкторско-технологического базиса — специалисты и их практический опыт, накопленный многолетней работой в авиастроении. Без таких практических специалистов проблематично выполнение задачи разработки интегрированной информационно-коммуникационной системы управления (ИИКСУ). Вместе с тем, возрастная проблема кадрового обеспечения работ по созданию компьютеризированного инструментария проектировщика не критична сегодня, завтра может привести к необратимым потерям практического авиастроительного интеллекта.

Таким образом, сегодня обеспечена первая составляющая основы для разработки инструмента автоматизированного проектирования — комплект специалистов. Главными задачами специалистов должны стать:

- ✓ трансформация практического опыта работы в авиастроении в машинные алгоритмы принятия КТР;
- ✓ экспертные оценки сравнения результатов функционирования САПР с результатами традиционных способов проектирования;
- ✓ проведение исследований для получения практических значений величин параметров и критериев оценки КТР;
- ✓ создание информационного массива ИИКСУ производством;
- ✓ обслуживание информационного базиса инструментария проектировщика.

Второй составляющей этой основы является методический базис конструирования и технологии машиностроения в целом и авиастроения как части машиностроения. Имеется достаточный массив методических разработок для дальнейшей интеграционной работы по формализации

экспертных оценок для принятия проектных решений. Сегодня результаты процесса формализации могут быть рецензированы специалистами, которые имеют возможность и квалификацию сравнивать проектные решения, принятые автоматизированной системой и с помощью традиционных способов поиска решений. Вместе с тем, мало разработанной является та часть методического комплекса, которая касается количественных характеристик параметров и критериев формализованных показателей эффективности решений, особенно тех, которые оценивают качественную сторону решений («хорошо-плохо», «допустимо-недопустимо», «красиво-некрасиво» и т.д.). Здесь нужны исследования для составления таблиц балльных оценок, шкал интенсивности и для разработки практических методик инженерно-визуальных методов оценки КТР, возможно, совместно с методиками функционирующей системы обеспечения качества изделия.

Третьей составляющей основы для разработки инструментария проектировщика является информационный базис. До внедрения ИТ в проектно-конструкторскую среду здесь уже существовала информационная система, которая обеспечивала все проектные работы необходимыми сведениями и исходными данными.

Развивая концепцию расширенного предприятия, АНТК «Ильюшин» привлек к работе своих партнеров. Системным партнером АНТК «Ильюшин» в технологическом проектировании ОАО «Туполев», в частности ЗАО «Авиастар-СП». Необходимость подкрепления конструкторского проектирования модернизированного ВС «Ил-476» технологическим проектированием была неоднократно высказана как специалистами АНТК «Ильюшин», так и специалистами других предприятий авиастроительного комплекса. Понимание существования проблемы технологического проектирования на всех стадиях проектно-производственного процесса создания ВС определило планы АНТК по разработке технологических методик.

Компьютерное технологическое проектирование ориентировано на использование практически всех компонентов системы непрерывной информационной поддержки ЖЦ АТ. Конструктор, работая в системе компьютерного конструирования (CAD), обращается к инструментарию технологического проектирования при выборе эффективных КТР и при сквозной оценке экономических результатов этих решений. Если при традиционной форме организации отработки изделий на технологичность в едином операционном поле работали комплексные бригады, состоящие из высококвалифицированных конструкторов и технологов, то в условиях компьютерного проектирования значительную часть функций технолога обеспечивает инструментарий технологического проектирования. Параллельное проектирование обеспечивает интеграцию оценок взаимосвязанных КТР, принимаемых различными конструкторами. Исходные данные для проектирования, остающиеся неизменными для очередной итерации решений, могут динамически изменяться, обеспечивая оптимизацию параметров решений. Управление требованиями (RC) обеспечивает возможность поиска оптимальных критериев оценки принимаемых КТР.

На основании результатов выполненного анализа и проведенных оценок строится технологическая концепция проекта ВС. Вместе с результатами анализов и оценок конструкторской концепции ВС создается его интегральный облик.

Состав и стадии компьютерного технологического проекта в составе общего компьютерного проекта самолета представлены на рис. 1.



Рис. 1. Стадии разработки технологической концепции проекта

ВС

Для полномасштабного компьютерного проектирования ВС, как, и других сложных систем, необходимо иметь АСЭО. АСЭО не заменяет функции конструктора или технолога, она помогает им эффективно использовать данные информационного базиса. АСЭО — аналитическая программа. Формализация функций специалистов при выполнении ими оценивания принятых или принимаемых КТР позволяет АСЭО делать интегрированную оценку. Главным опосредованным критерием оценки эффективности КТР служит конечный экономический результат — объем продаж.

В методических материалах по технологическому проектированию авиационных конструкций содержится методика оценки технологичности конструкции [2], предусматривающая определение частных и комплексных показателей:

- ✓ **базовых показателей**, устанавливаемых до начала проектирования, на основании анализа изделия аналогов и прогноза по развитию данного сегмента рынка АТ.
- ✓ **расчетных показателей**, которые определяются в процессе технологического проектирования. Первичная оценка показателей может осуществляться на основании экспертных оценок. Уточненные оценки формируются при проектировании технологических процессов и их нормирования. При этом предварительная оценка может получаться в результате проектирования и нормирования директивных технологических процессов, а наиболее точная - в результате нормирования рабочих технологических процессов.
- ✓ **фактически достигнутых показателей**, определяемых после изготовления опытной партии по результатам фактических затрат, а также при производстве последующих изделий для контроля снижения их себестоимости.

Для сокращения трудоемкости и сроков показателей технологичности осуществляется классификация элементов конструкции (деталей, сборочных единиц) по общности конструктивно-технологических свойств. В соответствии с методикой рассчитывается показатель технологичности для типового представителя, а далее осуществляется перерасчет показателя для каждого члена классификационной группировки с учетом коэффициента переноса (для деталей - масса, для сборочных единиц - количество соединительных элементов и т.д.).

Библиографический список

1.Осин М.И. Методы автоматизированного проектирования летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1984. – 169 с.

2.Зворыкин Л.О., Зворыкин К.О. Особенности определения предпочтительности тендерных предложений при оценке высокотехнологичных объектов // Технологические системы. – 2000. - № 3 – С.85-94.

3.Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / Под общ. ред. А.Г. Братухина. – К.: Техника, 2001. – 728 с.

УДК 331.022(021)

**ОЦЕНКА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В ПОДГОТОВКЕ
АВИАЦИОННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ****Махитко В.П.¹, Алякина Е.С.²***1 – профессор каф. ОАДиИТ УИ ГА им. Главного маршала авиации Б.П.Бугаева, г. Ульяновск.**2 – аспирант каф. ОАДиИТ УИ ГА им. Главного маршала авиации Б.П.Бугаева, г. Ульяновск.*

Аннотация. В статье представлена проблема психологического обеспечения профессиональной деятельности, структура безопасности и надежности профессиональной деятельности, проанализированы причины ошибок в действиях, обусловленных человеческим фактором на примере подготовки пилотов.

Ключевые слова: безопасность и надежность профессиональной деятельности, ошибки в действиях, личный фактор, человеческий фактор.

**EVALUATION OF THE HUMAN FACTOR IN AVIATION SPECIALISTS
PREPARATION****Makhitko V.P.¹, Alaykina E.S.²***1 – Professor of kaf. Oadiit UI GA. Chief Marshal Aviation B.P. Bugaev, Ulyanovsk.**2 – Aspirant of kaf. Oadiit UI GA. Chief Marshal Aviation B.P. Bugaev, Ulyanovsk.*

Abstract. The article presents the problem with the issues of psychological support, security and reliability of pilots professional activities. Their mistakes due to the personal and human factor are analysed.

Keywords: security and reliability of professional activities, wrong actions (mistakes), individual factor, human factor.

Проблема безопасности и надежности на современном этапе, является одной из основных в профессиональной деятельности. Она содержит как нравственные (безопасность жизнедеятельности), так и экономические (снижение затрат) вопросы, которые актуальны для профессий, связанных с определенным риском при эксплуатации авиационной техники. К таким профессиям относится, прежде всего, профессия пилота.

Авиационные специалисты понимают, что проблемы оптимизации безопасности и надежности выполняемых работ экипажем воздушного судна (ВС) представляют собой уровень профессиональной подготовки пилота, который является непрерывным процессом при эксплуатации ВС.

В качестве профессиональной подготовки в авиационных образовательных учреждениях проводятся специальные учебные занятия с

курсантами в виде тренингов, в том числе, тренинг взаимодействия CRM – управление ресурсами кабины [1]. На занятиях рассматриваются различные ситуации, используются различные ролевые функции, методы управления и поведения – для лучшего освоения механизма выполнения полета и динамики группового поведения членов экипажа.

Занятия построены для определения стиля поведения курсанта в экипаже, управления экипажем, дают объективную оценку участникам занятий с помощью анализа и комментария инструктора –психолога, формируют адекватную самооценку и др.

Профессор Техасского университета в Остине и руководитель научно-исследовательской группы экспертов по вопросам, связанных с безопасностью и надежностью работы экипажа Роберт А. Хельмрейх считает, что безопасность профессиональной деятельности состоит из следующих разделов [4]:

- ✓ соблюдение общих организационно-методологических правил и принципов работы, исключающих нарушения в организации деятельности и управления персоналом;
- ✓ профилактика предотвращений происшествий, инцидентов, ошибок, выявление и устранение опасных факторов профессиональной деятельности;
- ✓ надежность «человеко-машинной системы», безотказная работа техники и ее соответствие эргономическим возможностям человека (экипажа);
- ✓ надежность управления и сопровождения (в том числе и психологического сопровождения);
- ✓ обеспечивающая надежность профессиональной подготовки специалиста.
- ✓ каждый из компонентов обладает своей, весьма сложной структурой и взаимосвязан с другими.

При этом, надежность выполнения работ специалистом, способного выполнять профессиональную деятельность с требуемым качеством в определенное время при заданных условиях и при усложнении обстановки, в нестандартных условиях. Для этого специалисту необходимы высокий уровень профессионализма, своевременное повышение квалификации с учетом совершенствования и обновления технических средств оснащения рабочего места, оценки профессионального здоровья, психофизиологического резерва, дисциплинированности и соблюдения организационно-методологических правил и принципов работы.

Надежность профессиональной деятельности обеспечивается положением о подготовке персонала, где определены следующие составляющие [1]:

- ✓ выбор цели и средства для ее достижения;
- ✓ подбор и распределение специалистов;
- ✓ организация работы авиационных специалистов;
- ✓ распределение обязанностей, полномочий и ответственности;
- ✓ корпоративное обучение персонала;
- ✓ психологическая оценка ошибок в деятельности и др.;

Из перечисленных характеристик для оценки пилота в критической ситуации необходимо обратить внимание на психологическое состояние в профессиональной деятельности и системный подход к изучению ошибок, потенциальных или совершаемых в деятельности. Оценкой критической ситуации также служит системный подход при изучении ошибок и сведения их к минимуму путем закрепления определенных навыков в процессе обучения или повышения квалификации. При таком подходе причина появления ошибок определяется благодаря общему анализу связей и взаимодействия между пилотом и ВС.

Ошибки, которые совершает пилот в процессе своей деятельности, служат показателем его профессиональной надежности.

Для анализа ошибок предлагаются следующие критерии:

- ✓ внешнее проявление ошибки;
- ✓ результаты ошибочных действий;
- ✓ место ошибки в структуре «пилот-ВС»;
- ✓ причины ошибки;
- ✓ отношение к ошибке самого пилота.

По каждому из критериев необходимо разработать методы анализа ошибок. К примеру, при анализе причин ошибки определяется их место в составе деятельности и восприятии (зрительном, слуховом и т.п.), памяти (запоминании, сохранении, воспроизведении), принятии решений, в исполнении (в речевом ответе). Причины ошибки обычно связаны со следующими факторами:

- ✓ организацией рабочего места;
- ✓ регламентом труда и отдыха;
- ✓ профессиональной подготовкой;
- ✓ функциональным состоянием предметов деятельности;
- ✓ мотивацией труда;
- ✓ взаимоотношениями в коллективе и др.

Набор критериев анализа и классификации ошибки позволяет определить последовательность проведения психологического изучения ошибок, объединить и систематизировать значительное число разнородных причин, которые приводят к появлению погрешностей, ошибок и отказов, возникших в действиях пилота или связанных с работой технического оборудования [2,5].

Проанализируем причины ошибок пилота. Каждый его полет – выполнение множества разнообразных процедур, представляющих цепь мыслительных и двигательных процессов. Для выполнения какого-либо действия пилоту необходима информация. Малейшая погрешность работы оборудования, через которое пилоту поступают сигналы, или дисфункция

какого-либо элемента, посредством которого пилот получает информацию, могут привести к неправильным решениям и действиям или к катастрофе. К примеру, порог нормальной остроты зрения равен одной угловой минуте. При этой остроте зрения пилот обнаруживает летящее навстречу ВС за 5-6 км., которое от момента обнаружения его до начала изменения траектории полета ВС, пройдет около 3-4 сек. Чем больше скорость ВС - 2300 км/час. пилот не сможет ничего предпринять для исключения столкновения. Это при условии, что пилот увидел встречное ВС на предельной дальности, доступной для нормального человеческого глаза. Снижение остроты зрения, нарушение осматрительности в полете приводит к возрастанию вероятности аварии.

В деятельности пилота особенностью является поступление сигналов, которые колеблются в широких пределах. Ввиду того, что оптимальная скорость переработки информации находится в довольно узком диапазоне, то пилоту нередко приходится работать в условиях избытка или недостатка информации. Чем больше поступающей информации, тем больше вероятности, что пилот ее пропустит. К примеру, пилоты, начинающие осваивать групповые полеты нередко сосредотачивают свое внимание на ВС «ведущего», и совершенно не замечают особенностей пролетаемой местности. При длительном полете, отсутствии видимости земли, неподвижности стрелок приборов, монотонном шуме двигателей, у пилота пропадает ощущение полета, возникает состояния монотонии.

Характерная черта этой профессии требует постоянного внимания на протяжении всего полета. Даже в автоматическом режиме полета пилот должен контролировать работу многочисленных систем и агрегатов. При этом человеческое восприятие не может быть одинаковым течение продолжительного времени: известно, что через 15 мин., напряжение, сосредоточение на контроле приборов у пилота падает и теряется 15-20% поступающих сигналов.

Важным для профессиональной надежности пилота при сопровождении полета является обеспечение психологической постановки на выполнение полетного задания. Порой пилоту приходится действовать на пределе своих возможностей. К примеру, во время посадки пилот только руками совершает более 20 движений, кроме этого управляет педалями, контролирует приборы, глиссаду, определяет расстояние до земли, учитывает смещение полета. При этом, опытные пилоты в основном автоматизируют свои действия, а начинающие часто совершают при посадке ошибки, поскольку при отсутствии достаточной тренированности физически не успевают выполнить все необходимые действия. Поэтому на посадку приходится значительное число авиационных происшествий.

Следует учитывать, что на психологический потенциал пилота негативное влияние оказывают и факторы полета: перегрузка создает скованность движений, увеличивает время реакции, ограничивает поле зрения и ухудшает его остроту, шум мешает сосредоточиться, снижает точность и скорость сенсомоторных реакций, усложняет радиообмен. Такие факторы полета приводят к утомлению, уменьшают психофизиологические ресурсы и способствуют появлению ошибок.

За последние 60 лет доля авиационных происшествий по причине личного фактора составляет до 90%. Так, в «Анализе состояния безопасности полетов...» за 1999 г. отмечено, что основными причинами более чем 90% авиационных происшествий стали нарушения экипажами установленных правил выполнения полетов, неправильные решения в полете и ошибки в технике пилотирования. Велика доля авиационных происшествий, которые являются прямыми нарушениями пилотами установленных правил выполнения полетов. (лишь одно авиационное происшествие, которое явилось следствием прямых нарушений пилотами установленных правил выполнения полетов вызвано отказом авиационной

техники в полете. Человеческий фактор является причиной более 80% всех авиационных происшествий.

При анализе причин аварий необходимо отличать понятия «личный фактор» и «человеческий фактор. Под «личным фактором» понимают отклонения в нервно-психической сфере пилота, которые могут привести к аварии. Наиболее полное определение данного понятия дал отечественный авиационный психолог С.Г.Геллерштейн: «личный фактор – совокупность всех врожденных и приобретенных физических и психических свойств личности, которые могут быть поставлены в связь с причинами возникновения, характером течения и исходом авиационного происшествия. Личный фактор охватывает летные способности, физические и психофизиологические особенности, эмоционально-волевые качества, состояние здоровья, физическую выносливость, психологическую устойчивость, уровень профессиональной подготовки».

Причинами ошибок, вызванных личным фактором, могут быть:

- ✓ слабые социальные и моральные качества (недостаточная направленность на летную работу, недисциплинированность, личная ответственность);
- ✓ недостаточные знания, опыт;
- ✓ психофизиологические аспекты, состояние здоровья (заболевание, утомление и переутомление, нервно-эмоциональная напряженность, снижение чувствительности, неблагоприятные личные качества, недостаточные объем, устойчивость и распределение внимания, памяти, пространственных представлений и др.).

Профилактика ошибок, вызванных личным фактором, должна включать предварительное выявление индивидуальных недостатков пилота и их устранение. Для сохранения профессиональной надежности следует совершенствовать контроль уровня здоровья, работоспособности. Имеются перспективы внедрения в практику систем автоматизированного контроля с

учетом модульных комплексов, определяющих показатели психофизиологических функций. Раннее проявление у пилота пограничных функциональных состояний, своевременных и эффективных адекватных методов коррекции, систем восстановительных мероприятий позволяет сохранить профессиональное здоровье и продлить летное долголетие пилотов. Введение комплексов функциональной реабилитации снизит вероятность ошибок, допускаемых пилотами, в 1,6 раза.

Периодически в авиационной практике наблюдаются ошибки, которые совершают здоровые, работоспособные, эмоционально устойчивые и опытные пилоты. Условиями, провоцирующими ошибки подготовленного пилота могут быть: поступление неопределенной, ложной информации, антропометрическое несоответствие рабочего места размерам тела пилота; физиолого-гигиенический дискомфорт условий летной работы, ограничение времени для принятия решения и др. Перечисленные условия приводят к детерминированным ошибкам, обусловленным несоответствием процессов и средств деятельности психофизиологическим характеристикам личности и определены понятием «человеческий фактор».

Разделение личного и человеческого факторов в авиации имеет большое значение. В первом, ведущее место занимают индивидуальные качества человека, которые препятствуют нормальной летной работе. Человеческий фактор включает зависимость полноценной деятельности от характеристик оборудования ВС и условий труда. Это разделение дает возможность учитывать ошибки, связанные с виной пилота и объективными обстоятельствами, в том числе, техническим несовершенством оборудования. Ошибки, обусловленные человеческим фактором, характеризуются высокой их повторяемостью в одинаковых условиях, независимо от личности пилота.

Причинами ошибок пилотов, связанных с человеческим фактором, могут быть:

- ✓ недостатки профессиональной подготовки (методов обучения, потеря навыка после перерыва в летной работе, недоученность и др.);
- ✓ недостатки условий и средств труда (средств отображения информации, органов управления, компоновки, размещения, освещения;
- ✓ несоответствие физических, химических, социально-психологических факторов требуемым условиям труда);
- ✓ несоответствие содержания летной работы психофизиологическим характеристикам человека (недостатки в распределении функций между человеком и автоматом;
- ✓ чрезмерная информационная и физическая нагрузка, темп работы и т.п.);
- ✓ недостатки в организации полетов, их обеспечении (нарушение в организации режима труда, отдыха и питания, недостатки в руководстве и управлении полетами и т.п.).

Приведенные причины могут привести к ошибкам в технике пилотирования, самолетовождении, эксплуатации ВС. При этом, даже простые ошибки при работе с органами управления не всегда можно отнести за счет недостатка навыков, недоученности пилота. Сложно найти решения для проекта технического оборудования, его оснащения, пригодное для всех ситуаций в работе и любых состояний пилота. Поэтому целесообразно проектировать рабочее место пилота, как адаптивную систему, которая будет автоматически приспосабливаться к оперативным ситуациям и состоянию пилота, динамически осуществлять распределение функций между пилотом и приборами.

Отсюда, профилактика ошибок, обусловленных человеческим фактором, может быть реализована с помощью эргономической доработки техники до уровня соответствия психофизиологическим возможностям пилота, совершенствования условий, содержания, организации и обеспечения летной работы. При этом, ошибки, связанные с человеческим фактором, должны предотвращаться путем оптимизации системы «пилот – ВС».

В области человеческого фактора наиболее эффективным средством повышения уровня профессиональной надежности является своевременная психодиагностика и системный подход в обучении пилотов. Для предотвращения ошибок, связанных с человеческим фактором, используется специальная теоретическая и практическая тренировка экипажей. Теоретическая подготовка осуществляется в учебных аудиториях, а практическая – на тренажерах, где личность пилота находится в центре внимания и выступает ядром профессиональной подготовки. Тренировки показывают, что разные уровни индивидуальности, по-разному определяют профессиональную деятельность в групповой работе, аудитории, на тренажере. При разработке тренажеров руководствуются необходимостью обеспечить практическую подготовку в условиях, максимально приближенных к реальным условиям, при возможно низких материальных затратах, степени риска, но при этом, более высокой отдаче. В обучении для оценки человеческого фактора очень важно эффективно сочетать эти аспекты.

Подготовленные и апробированные в авиационной отрасли психодиагностические методики позволяют осуществлять набор пилотов на новую авиационную технику, перераспределять их по видам авиации, комплектовать экипажи.

Сфера оценки человеческого фактора не ограничивается лишь аспектами безопасности полетов. Эффективность функционирования системы подготовки пилотов в значительной степени зависит от применения знаний в области человеческого фактора.

Обучение в данной области предусматривает системный взгляд на индивидуальность пилота: рассмотрение динамических особенностей выполнения тренировочных упражнений и процессов принятия решения, учет свойств характера и социально-психологической направленности человека, анализ особенностей деятельности. Актуальная задача в работе с

составом пилотов состоит в формировании высокого уровня культуры взаимоотношений и обучении современным видам подготовки пилотов в области человеческого фактора.

Библиографический список

1.Благинин А.А. Психологический анализ ошибочных действий летного персонала. Психологические исследования. М.: Образование и наука, №6 (63), т.2. 2009. - 215 с.

2. Лейченко С.Д., Малишевский А.В., Михайлик Н.Ф. Человеческий фактор в авиации. Монография в 2-х книгах. Кн. 1. - СПб.: Санкт-Петербургский гос. университет ГА. 2005. 474 с.

3. Руководство по обучению в области человеческого фактора. (DOC/9683 – AN/950). - Издание первое. - Канада. Монреаль, ICAO. 1998. - 333 с.

4. Хельмрейх Р. А. Профессиональная подготовка кадров в области CRM представляет собой главную линию обороны против угроз безопасности полетов, включая ошибки персонала // ИКАО. - № 2. 1999. - С. 29-35.

5. Циркуляр ИКАО (240 - AN/144) Человеческий фактор / Сборник материалов № 7. Изучение роли человеческого фактора при авиационных происшествиях и инцидентах. 1993.

6. Человеческий фактор: новые подходы к профилактике авиационной аварийности / под ред. В.В. Козлова. – М., 2000.

СОДЕРЖАНИЕ

Приветственное слово		6
Секция 1 «ЗАГОТОВИТЕЛЬНО-ШТАМПОВОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО В МАШИНОСТРОЕНИИ»		
1	ПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЫ ПОДГИБКИ ОТБОРТОВАННОЙ ЧАСТИ ПРОФИЛЯ ПРИ ФОРМОВКЕ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВАЛКАХ Гульшин В.А., Филимонов А.В., Филимонов В.И. LIMIT FOLDING ANGLES FOR A FLANGED PART OF THE PROFILE FORMED IN HORIZONTAL ROLLS Gulshin V.A., Filimonov A.V., Filimonov V.I.	8
2	СРАВНИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО ПЕРЕХОДОВ ДЛЯ ФОРМОВКИ ПРОФИЛЕЙ УСИЛЕНИЯ БОРТА Гульшин В.А., Филимонов С.В., Филимонов В.И. COMPARATIVE NUMBER OF PASSES FOR BORD REINFORCING PROFILES Gulshin V.A., Filimonov S.V., Filimonov V.I.	14
3	РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ПРАВИЛЬНО-ГИБОЧНОЙ РОЛИКОВОЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ Попов А.Г., Марковцев В.А., Журтубаев А.А. DEVELOPMENT OF THE CORRECT-BENDING ROLLER INSTALLATION FOR THE PRODUCTION OF PROFILE AIRCRAFT PARTS Popov A. G., Markovtsev V. A., Zhurtubaev A. A.	22
4	ОДИН ИЗ ВАРИАНТОВ ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ Турундаев К.В. A WAY TO IMPROVE THE QUALITY OF PROFILES FOR AIRCRAFT Turundaev K.V.	27

Секция 2 «ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ И АВТОМАТИЗАЦИЯ»		
5	МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕРАЗЪЁМНОЙ СБОРКИ ТРУБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ Астапов В.Ю. MODELLING PROCESS ONE-PIECE ASSEMBLY OF TUBULAR PARTS BY MAGNETIC IMPULSE LOADING Astapov V. Yu.	38
6	ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ СТАЛЬНОГО КОЛЬЦА В ЖЕСТКОЙ ОБОЙМЕ Егоров А.В. VALIDATION OF THE STABILITY LOSS MODEL OF A STEEL RING IN A RIGID CASE Egorov A. V.	46
7	ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ БОКОВЫХ ДОРОЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ НА УДЕРЖИВАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ПРИ НАЕЗДЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Халилов Ф.Х., Баранов А.С. INFLUENCE OF THE MANUFACTURING TECHNOLOGY OF THE ELEMENTS OF SIDE ROAD BARRIERS ON THE HOLDING CAPACITY WHEN HITTING VEHICLES Ilyushkin M. V., Markovtsev V. A., Khalilov F. Kh., Baranov A. S.	55
8	МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ МЕТАЛЛА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ, КАК КАТАЛИЗАТОР ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ КЛР Кокорин В.Н., Мишов Н.В., Шиллер Н.П., Корчакин А.С. MECHANICAL ACTIVATION OF METAL IN THE PROCESS OF COLD DEFORMATION HARDENING, AS A CATALYST FOR CHANGES IN THERMAL CONDUCTIVITY IN CLR Kokorin V. N., Mishov N. V., Shiller N. P., Korchakhin A. S.	67
9	ПРОЦЕСС И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ФОРМОВКИ-ВЫРУБКИ ПОЛИУРЕТАНОМ МЕМБРАН ИЗ ФОЛЬГИ Мамутов В.С., Арсентьева К.С., Курятников А.А. PROCESS AND COMPUTER SIMULATION OF IMPULSE	73

	FORMING-CUTTING OF MEMBRANES FROM FOIL USING POLYURETHANE Mamutov V.S., Arsentyeva X.S., Kuryatnikov A.A.	
10	МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОБТЯЖКОЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБОЛОЧЕК СЛОЖНЫХ ФОРМ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ РАСТЯЖНО-ОБТЯЖНОМ ПРЕССЕ Михеев В.А., Роберто де Алваренга, Гусев Д. В. MODELING OF THE FORMATION OF TIGHT-FITTING LARGE-SIZED SHELLS OF COMPLEX SHAPES ON THE SPECIALIZED STRETCH-TIGHT PRESS Mikheev V. A., Roberto de Alvarenga, Gusev D. V.	80
11	МОДЕЛЬ ДЕФОРМАЦИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ УДАРНЫХ НАГРУЖЕНИЯХ Морозов О.И., Табаков В.П., Кокорин В.Н., Илюшкин М.В. MODELING OF DEFORMATION FRACTURE OF WEAR-RESISTANT COATINGS OF PUNCHING TOOLS O.I. Morozov, V.P. Tabakov, V.N. Kokorin, M.V. Ilyushkin	101
12	ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ШИРИНЫ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕССЕ ФОРМОВКИ КОРЫТНОГО ПРОФИЛЯ НА ПРОФИЛЕГИБОЧНОМ СТАНЕ Поворов С.В., Меремьянин А.В. RESEARCH OF CHANGES WIDTH OF METALL BLANK THROUGHOUT OF ROLLING ROLL-FORMED HAT SECTION ON THE ROLL FORMING MILL Povorov S.V., Meremyanin A.V.	107
13	МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СВАРНЫХ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК Почекуев Е.Н., Шенбергер П.Н., Кандырин И.С. SIMULATION OF TAILOR WELDED BLANKS DEFORMATION Pochekuev E.N., Shenberger P.N., Kandyrin I.S.	116
Секция 3 «ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА»		
14	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	122

	Галкин В.В., Пачурин В.Г., Баженов Е.А. DEFORMATION ANALYSIS AND EVALUATION OF THE HARDENING OF THE STEEL 12X17Г9АН4 IN THE MANUFACTURE OF SHEET PANELS WITH A SINUSOIDAL RIFT ON A HAMMER IN A RIGID DIE AND PRESS USING AN ELASTIC MEDIUM Galkin V.V., Pachurin G.V., Bazhenov E.O.	
15	СХЕМА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ФОРМУЮЩИЕ ВАЛКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАММЫ ПРОФИЛЕЙ УСИЛЕНИЯ БОРТА Гульшин В.А., Марковцев В.А., Марковцева В.В., Филимонов А.В. FORMING DIAGRAM AND FORMING ROLLS FOR MANUFACTURING A RANGE OF BOARD-REINFORCING PROFILES Gulshin V.A., Markovtsev V.A., Markovtseva V.V., Filimonov A.V.,	132
16	ОБ УТОЧНЁННОЙ МОДЕЛИ ЧИСЛА ПЕРЕХОДОВ ДЛЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ШВЕЛЛЕРОВ Гульшин В.А., Филимонов А.В., Филимонов В.И. ON AN IMPROVED MODEL FOR NUMBER OF STEPS IN U-SECTIONSMANUFACTURING Gulshin V.A., Filimonov A.V., Filimonov V.I.	138
17	КАВИТАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ КАК МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ВОДОРОДНОЙ ПЛЕНКИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ Кокорин В.Н., Мишов Н.В., Шиллер Н.П. CAVITATION PHENOMENA AS A MECHANISM FOR THE FORMATION OF A MOLECULAR HYDROGEN FILM AT HIGH PRESSURES Kokorin V. N., Mishov N. V., Shiller N. P.	146
18	КАВИТАЦИЯ КАК КАТАЛИЗАТОР СДВИГА ПРИ НАГРУЖЕНИИ СТРУКТУРНО НЕОДНОРОДНЫХ ГЕТЕРОФАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ Кокорин В.Н., Кокорин А.В., Мишов Н.В., Шиллер Н.П., Журтубаев А.К. CAVITATION AS A SHEAR CATALYST UNDER LOADING OF STRUCTURALLY INHOMOGENEOUS HETEROPHASE	152

	MATERIALS Kokorin V.N., Kokorin A.V., Mishov N.V., Shiller N.P., Zhurtubaev A.K.	
19	ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ЭТАПЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДОЙ НА ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ FDM-ПЕЧАТИ ОСНАЩЕНИЯ Кудряшов В.А., Кошкина А.О. INVESTIGATION OF THE PROCESSES OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION AT THE STAGE OF FORMING AN ELASTIC MEDIUM ON SHEET BLANKS USING FDM-PRINTING EQUIPMENT Kudryashov V. A., Koshkina A. O.	156
20	РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ В SIEMENS NX Почекуев Е.Н., Власов А.А. DESIGN OF TECHNOLOGY PROGRESSIVE PROCESS SHEET STAMPING IN SIEMENS NX Pochekuev E.N., Vlasov A.A.	168
Секция 4 «ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ В АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ»		
21	СЕНАТОРОВА О. Г. ОБ АКАДЕМИКЕ РАН ФРИДЛАНДЕРЕ. ФРИДЛАНДЕР И.Н. О НАУКЕ, ПРАКТИКЕ, ИСТОРИИ Марковцева О. Ю. SENATOROVA O. G. ABOUT ACADEMICIAN OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES FRIEDLANDER. FRIEDLANDER I. N. ON SCIENCE, PRACTICE AND HISTORY Markovtseva O. Yu.	173
22	ИНСТРУМЕНТАРИЙ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ Махитко В.П., Чекаев Ю.Ю. TOOLKIT FOR DESIGN AND TECHNOLOGICAL AIRCRAFT DESIGN SOLUTIONS Makhitko V.P.¹, Chekaev Yu.Yu.	181

23	ОЦЕНКА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В ПОДГОТОВКЕ АВИАЦИОННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ Махитко В.П., Алякина Е.С. EVALUATION OF THE HUMAN FACTOR IN AVIATION SPECIALISTS PREPARATION Makhitko V.P., Alaykina E.S.	194
----	---	-----

Научное электронное издание

**НАУКА, ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА АВИАЦИОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КЛАСТЕРА
СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ**

Материалы VI Международной научно-производственной конференции,
приуроченной ко Дню российской науки (г. Ульяновск, 2021 г.)

Сборник научных трудов

Отв. за выпуск В. В. Марковцева

ЛР № 020640 от 22.10.97

Дата подписания к использованию 15.06.2021.

ЭИ № 1568. Объем данных 8,2 Мб. Заказ № 333.

Ульяновский государственный технический университет
432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.
ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.

Тел.: (8422) 778-113

E-mail: venec@ulstu.ru

venec.ulstu.ru