

УДК 621.984.3

## **Формообразование подсечек на листовых деталях с применением подвижного прижима**

**Мироненко В.В.**

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,*

*ул. Лермонтова, 83, Иркутск, 664074, Россия*

*e-mail: [mironenko\\_vv@istu.edu](mailto:mironenko_vv@istu.edu)*

### **Аннотация**

В статье рассмотрен нормативный документ регламентирующий форму подсечки и ее параметров. Также показана рекомендуемая зона формообразования подсечек исходя из этого документа и освещены проблемы которые не может решить данный документ. На примере детали со стандартной подсечкой показано возникновение дефекта типа «недоштамповка» и предложено решение данной проблемы в виде формообразования с подвижным прижимом. На примере двух модельных деталей показано как формообразование с подвижным прижимом позволяет изготавливать детали с нестандартными подсечками. Показаны результаты моделирования и натурального эксперимента для модельных деталей.

**Ключевые слова:** эластоформование, листовая штамповка, подсечка.

### **Введение**

В современном авиастроении существуют серьезные проблемы, связанные с формообразованием подсечек на листовых деталях. Существуют варианты соединения листовых деталей при сборке: внахлест и встык с накладкой.

Соединение внахлест проще по конструкции, имеет меньшую массу и большую жесткость относительно соединения встык с накладкой. Недостатком конструкции с использованием соединения внахлест является необходимость формирования подсечки. Длина нахлеста определяется из условия размещения потребного по условию прочности количества крепежных деталей. При формировании подсечки на поверхности борта детали, на существующем оборудовании, давления эластичной среды недостаточно, в результате чего возникает дефект типа «недоштамповка» или «гофрообразование» (что и является большой проблемой). Соединение встык с накладкой удобнее в производстве, но требует изготовления дополнительной детали (накладки) и имеет большую массу.

Для устранения дефектов «недоштамповка» и «гофрообразование» используется ручная доводка деталей с большой трудоемкостью. В результате доводки детали в одном месте уходит контур всей детали и, как результат, приходится доводить всю деталь. Также при ручной доводке теряется смысл учета пружинения в оснастке, так как при доводке деталь в районе подсечки полностью меняет свою форму.

«Недоштамповка» и «гофрообразование» происходит в связи с возникновением избыточной жесткости в районе вершины «подсечки» при формообразовании эластичной средой. Данный эффект обусловлен геометрической формой «подсечки». Для преодоления избыточной жесткости в районе вершины подсечки необходимо перевести усилие эластичной среды на дополнительный элемент оснастки, который будет передавать повышенное усилие локально на

вершину подсечки и обеспечит в ней условие напряжено-деформированного состояния, близкого к всестороннему сжатию. Максимальный эффект от дополнительного элемента оснастки может быть получен при осуществлении его движения вовремя формообразования. Соотношение характеристик подсечки влияет на появление того или иного дефекта или, наоборот, исключает его появление. В нормативном документе ОСТ 1.52468-80 существует номограмма, представленная на Рис.1, показывающая рекомендуемые области соотношений характеристик для формообразования подсечки. Графики на рисунке показывают области подсечек без дефектов для материалов АМг2М - АМг6М, Д16М, Д19М, В95М, 1201, 1420 при радиусе инструмента  $r = 2S$ .

Номограмма показывает, что при формообразовании подсечки могут возникнуть три дефекта: гофрообразование (С); недоштамповка (Н); разрыв (Р). Данная номограмма также содержит зоны увеличения вероятности появления дефектов. Вероятность появления «недоштамповки» увеличивается, когда возрастает толщина заготовки и, следовательно, уменьшается отношение  $h/S$ . Вероятность появления дефекта типа «гофрообразование» увеличивается с уменьшением толщины заготовки и, следовательно, с ростом отношения  $h/S$ . Вероятность появления разрывов увеличивается с увеличением крутизны подсечки, т.е. отношения  $h/l$ .

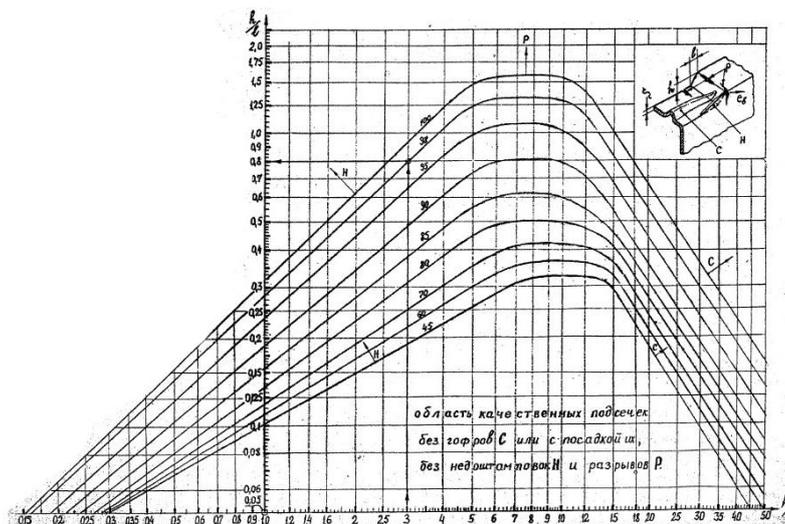


Рис.1– Предельная крутизна срединных подсечек при штамповке резиной на свободных формблоках

Однако, при использовании данной номограммы и нормативной документации можно столкнуться со следующими проблемами:

- геометрические характеристики подсечки не входят в рекомендованные зоны;
- использован материал для детали, который не входит в состав перечисленных для рекомендованных параметров подсечек;
- имеется вероятность появления устранимых дефектов (гофрообразование и недоштамповка) при рекомендованных параметрах в связи с возникновением ряда неконтролируемых факторов (например, изменение свойств материала ввиду разности поставок), что приводит к необходимости их устранения с применением ручной доводки;
- недостаточность давления оборудования для обеспечения качественного формообразования подсечки с рекомендованными параметрами формообразования.

## Проблемы, возникающие с листовыми деталями, имеющими подсечки по нормативным документам

Однако элементы типа «подсечка» с параметрами заданными по ГОСТ т.е. входящим в зону очерчиваемую крайними графиками номограммы (см.Рис.1), также не дают гарантии изготовления деталей без дефектов. Для подтверждения этого была выбрана листовая деталь из сплава 1163АМ (см.Рис.2). Как видно из Рис.2 подсечка по параметрам входит в диапазон бездефектного формообразования.

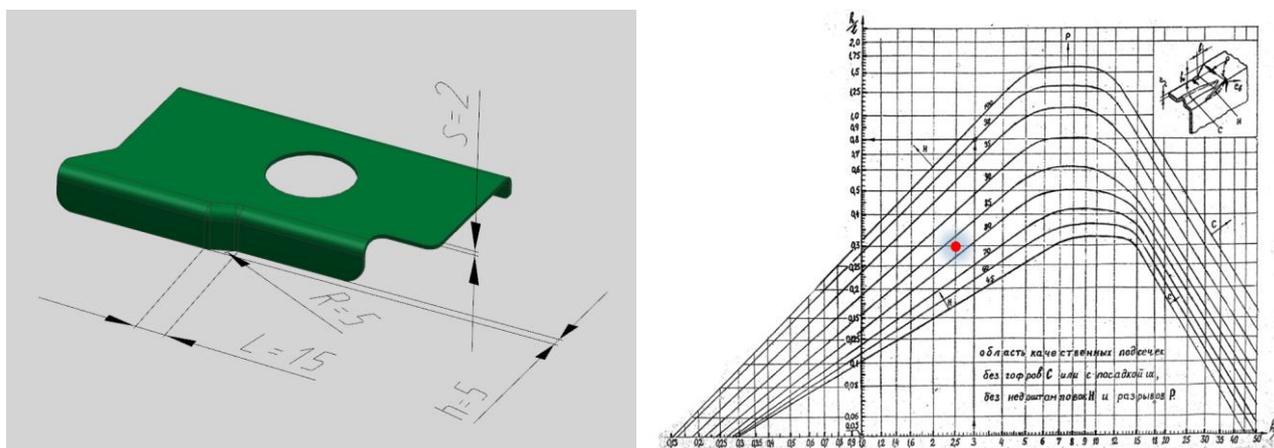


Рис.2– Деталь со стандартной подсечкой

Для имитационного моделирования процесса формообразования использован программный комплекс PAM-STAMP французской фирмы ESI Group.

Модель материала заготовки 1163АМ задана следующими параметрами:

- модуль Юнга – 70 ГПа;
- коэффициент Пуассона – 0.33;
- плотность – 2.6 кг/мм<sup>3</sup>;
- коэффициенты анизотропии  $r_{0^\circ}$ ,  $r_{45^\circ}$ ,  $r_{90^\circ}$  – 0.5089, 1.2808, 0.6654;

- пластическая часть кривой течения задана функцией «Krupkowsky law», имеющей вид:  $\sigma = K(\varepsilon_0 + \varepsilon_p)^n$ . Константы функции для материала 1163AM:  $K=0.32417$  ГПа,  $n=0.2183$ ,  $\varepsilon_{ps0} = 0.0011$ .

Моделировался процесс эластоформования при давлении 100 МПа (что соответствует максимуму давления промышленных прессов эластоформования на сегодняшний день) и расчет показал, что в зоне вершины подсечки присутствует «недоштаповка» 0,704 мм. (см.Рис.3).

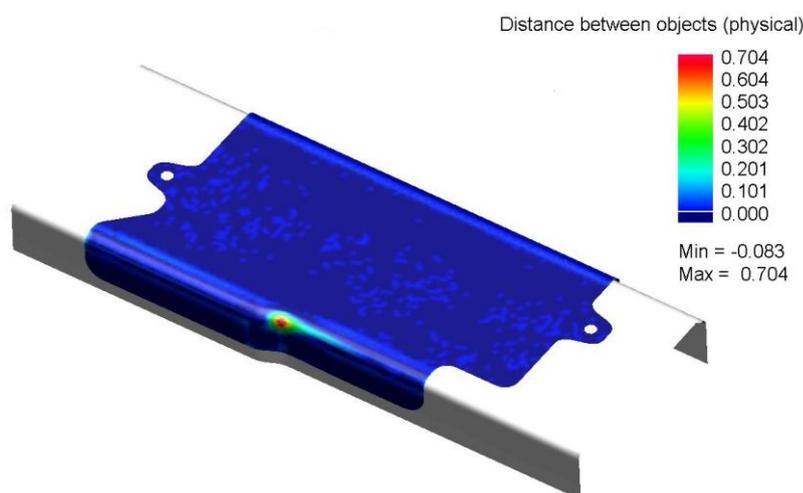
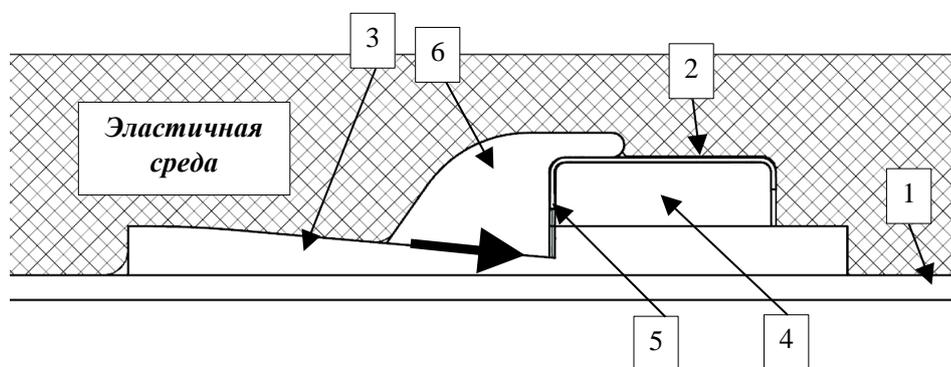


Рис.3 – Результаты моделирования детали со стандартной подсечкой

Для устранения вышеописанных дефекта предлагается использовать дополнительный элемент оснастки - подвижный прижим. Устранение дефекта достигается способом формообразования листовой заготовки, включающим предварительное формообразование эластичной средой и доформовку с использованием перемещающегося прижима. Перед проведением формообразования на стол пресса устанавливается оснастка, закрепленная на

подштамповой плите с пазом для установки подвижного элемента, на шпильки оснастки устанавливается заготовка, после чего проводится предварительное формообразование, затем на подштамповую плиту в пазы устанавливается подвижный прижим и выполняется окончательное формообразование, что обеспечивает качественное получение детали с «подсечкой».

Эластичная среда воздействует на наклонную поверхность прижима и приводит его в движение по наклонной поверхности паза в подштамповой плите (см.Рис.4). Перемещение подвижного прижима при окончательной формовке обеспечивает необходимое напряженно-деформированное состояние сжатия и достаточное силовое воздействие на деформируемую зону детали для исключения «недоштамповки».



1 - стол пресса; 2 - позиционирующие штыри;

3 - подштамповая плита; 4 - оснастка для формообразования;

5- заготовка в виде развертки; 6 - подвижный прижим;

Рис.4 – Места воздействия эластичной среды на подвижный прижим и основной вектор формообразующих усилий

Проведя моделирование по данной схеме был устранен дефект «недоштаповка» и, она составила менее 0,1 мм.(см.Рис.5). Модель подвижного прижима показана и подштамповой плиты показана на Рис.6. Также Рис.6 показывает движение подвижного прижима по подштамповой плите во время формообразования.

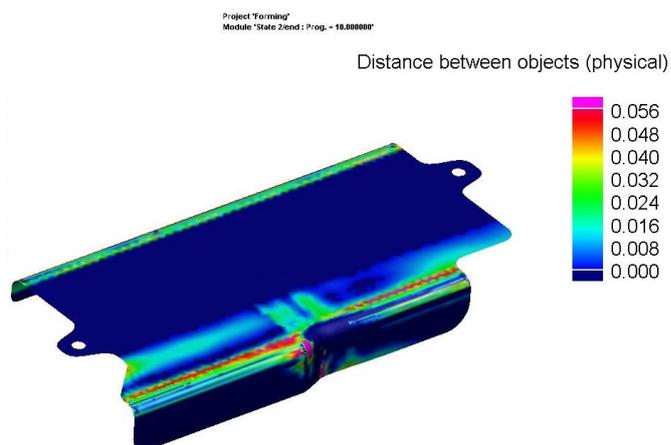


Рис.5 - Результаты моделирования детали со стандартной подсечкой с использованием подвижного прижима

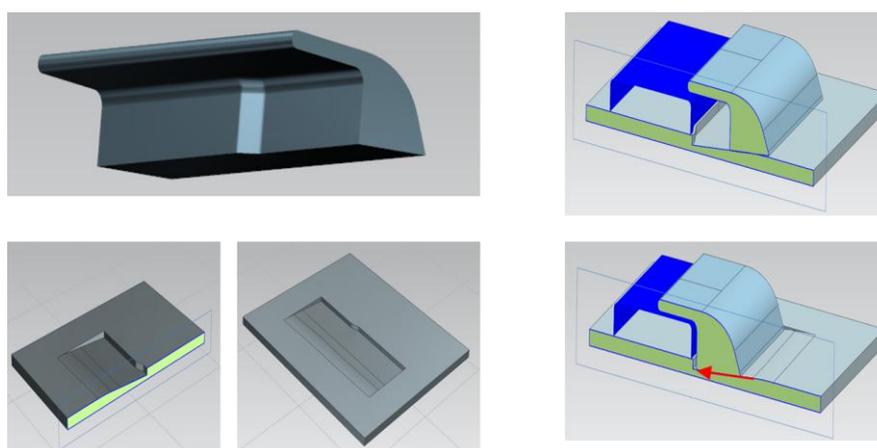


Рис.6 – Подвижный прижим, подштамповая плита и вектор движения подвижного прижима

По результатам моделирования был проведён натурный эксперимент и изготовлены три детали без дефектов (см.Рис.7).



Рис.7 – Изготовленные детали со стандартной подсечкой

Измерение «недоштамповки» щупом КИМ [1] в зоне перехода от наклонной части подсечки к плоской показало допустимые отклонения от электронной модели детали (см.табл.1).

Таблица 1

Результаты измерения деталей

№ детали (Давление, МПа)	Моделирование при 100 МПа по оснастке		Опытная отработка
	без прижима	с прижимом	
1 (60)	0,704	0,056	0,092
2 (80)			0,071

3 (80)			0,065
--------	--	--	-------

В результате данная схема позволяет изготовить качественную деталь без дефектов.

### Формообразование модельных деталей

Предложенная схема формообразования с подвижным прижимом показала свою работоспособность в зоне соответствующей стандартным подсечкам. Однако потенциал данной технологии значительно выше. Она позволяет выйти за пределы номограммы (см.Рис.1). Для подтверждение данной гипотезы были сформированы модели деталей с элементом подсечка которые выходят за границы нормативной номограммы (см.Рис.8, Рис.9).

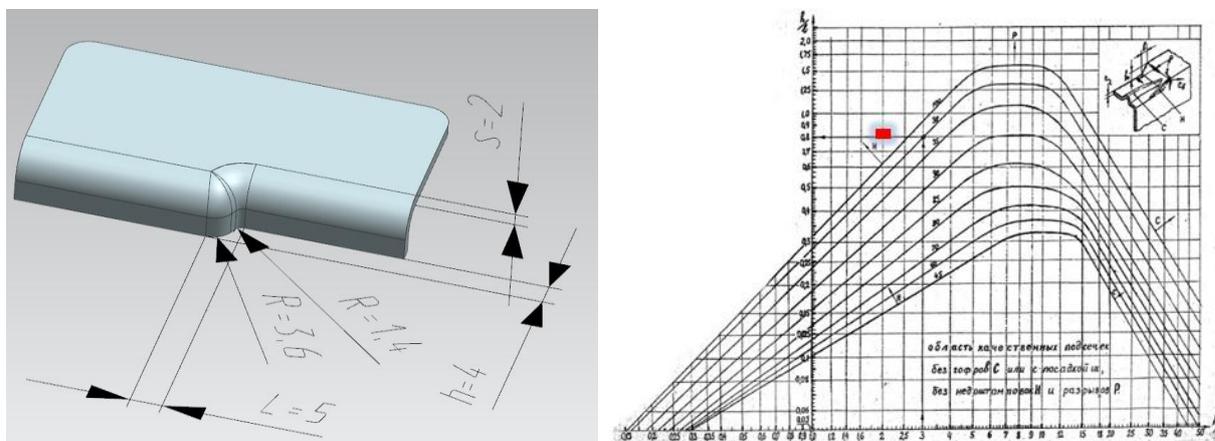


Рис.8 – Деталь №1 с малой величиной сбega подсечки и большой толщиной

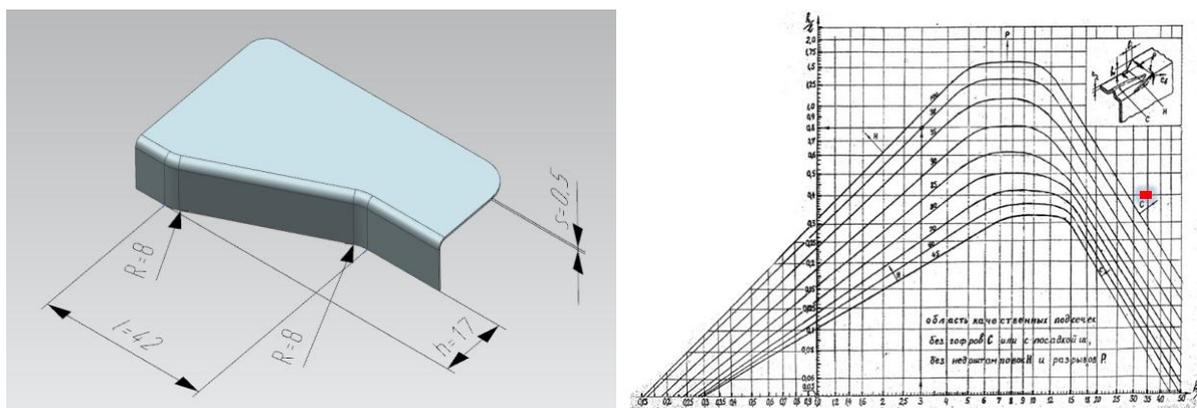


Рис.9 – Деталь №2 с большой величиной сбега подсечки и малой толщиной

Для детали №1 была изготовлена оснастка, подвижный прижим и подштаповая плита (см.Рис.10). Также было проведено моделирование данного процесса в программе имитационного моделирования ESI Group PAM-STAMP 2G с параметрами материала как у детали со стандартной подсечкой (т.е материал 1163 AM) (см.Рис.11). Моделирование проводилось с разными давлениями что соответствует лабораторной установке и промышленному прессу QFC 1.2x3 -1000.

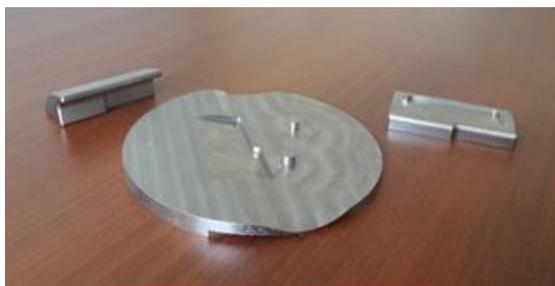


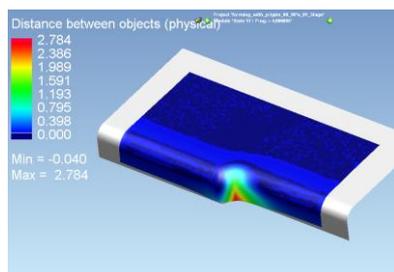
Рис.10 – Подштаповая плита, подвижный прижим и оснастка для детали №1

30 МПа

100 МПа

Лабораторная установка без  
подвижного прижима

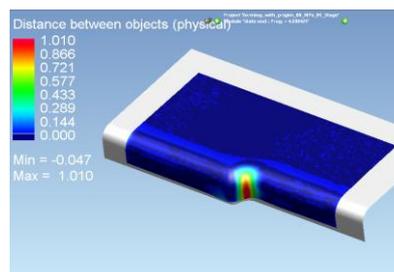
Промышленный пресс QFC 1.2x3  
-1000 без подвижного прижима



Максимальная недоформовка

2,784 мм.

а)



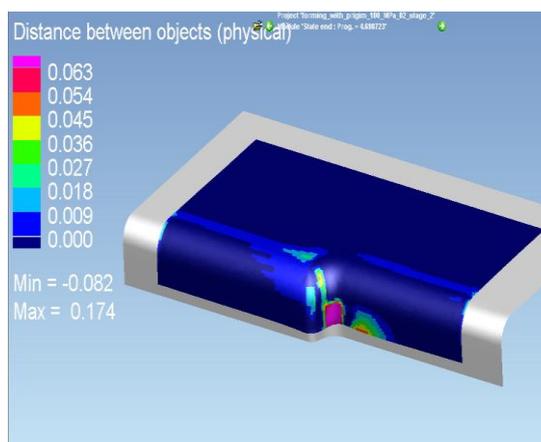
Максимальная недоформовка

1,01 мм.

б)

30 МПа

Лабораторная установка с подвижным прижимом



Максимальная недоформовка

0,063 мм.

в)

Рис.11 – Результаты моделирования деталь №1

Как показывает Рис.11, а и Рис.11, б дефект типа «недоштаповка» на модельной детали №1 появляется при формообразовании без подвижного прижима и наращивание давления не решает данную проблему, хотя и уменьшается величина

«недоштаповки». Однако как видно на Рис.11, в использование подвижного прижима помогает устранить дефект типа «недоштаповка» при малом давлении.

Для детали №2 была изготовлена оснастка подвижный прижим и подштаповая плита (см.Рис.12). Также было проведено моделирование данного процесса в программе имитационного моделирования ESI Group PAM-STAMP 2G с параметрами материала как у детали со стандартной подсечкой (т.е материал 1163 AM) (см.Рис.13).



Рис.12 - Подштаповая плита, подвижный прижим и оснастка для детали №2

30 МПа

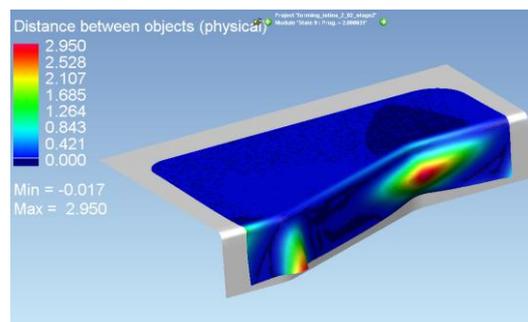
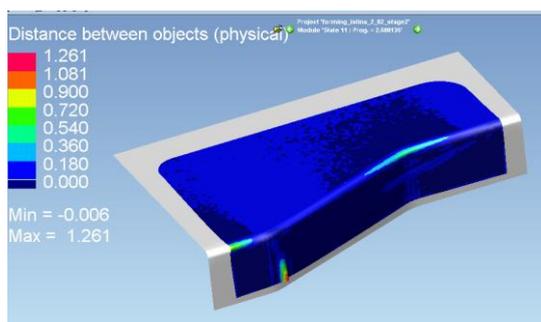
2,5 МПа

Лабораторная установка

Лабораторная установка

без подвижного прижима

без подвижного прижима



Максимальная недоформовка

1,261 мм. (получен

неустранимый дефект типа

высокая гофры и дальнейшей

формообразование приведет к

складке)

а)

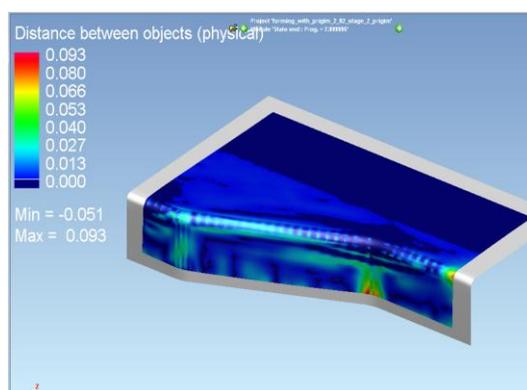
Максимальная недоформовка

2,950 мм.

б)

30 МПа

Лабораторная установка с подвижным прижимом



Максимальная недоформовка

0,093 мм.

в)

Рис.13- Результаты моделирования деталь №2

Как видно из Рис.13,а что дефект типа «гофрообразование» нельзя решать наращиванием давлением. В противном случае образуется высокая гофра, которая может в свою очередь потерять устойчивость и перейти в складку. Использование подвижного прижима в ситуации с высокой гофрой дает нестабильность процесса ввиду концентрации усилия на малой площади вершины, что опять же может привести к складке. Для того чтобы избежать данной ситуации на первом этапе для подсечек с такими параметрами необходимо использовать минимальное давление (см.Рис.13, б). Когда давление маленькое то гофра имеет более устойчивую форму для посадки. Если после этого использовать формообразование с подвижным прижимом то удастся устранить данный дефект (см.Рис.13,в).

На изготовленной оснастке и по результатам проведенного конечно-элементного анализа были проведены натурные эксперименты. Получена полная сходимость результатов (см.табл.2). Что доказывает работоспособность способа изготовления с подвижным прижимом.

Таблица 2

## Результаты натурных экспериментов

Деталь №1	Деталь №2
30 МПа	30 МПа
Лабораторная установка без подвижного прижима	Лабораторная установка без подвижного прижима

 <p>Максимальная недоформовка 2,784 мм.</p>	 <p>Максимальная недоформовка 1,261 мм. (получен неустраняемый дефект типа высокая гофры и дальнейшей формообразование приведет к складке)</p>
<p>80 МПа Промышленный пресс QFC 1.2x3 - 1000 без подвижного прижима</p>  <p>Максимальная недоформовка 1,01 мм.</p>	<p>2,5 МПа Лабораторная установка без подвижного прижима</p>  <p>Максимальная недоформовка 2,950 мм.</p>
<p>30 МПа Лабораторная установка с подвижным прижимом</p>	<p>30 МПа Лабораторная установка с подвижным прижимом</p>

	
Максимальная недоформовка 0,063 мм.	Максимальная недоформовка 0,093 мм.

### Выводы

В результате была найдена технология формообразования подсечек с подвижным прижимом которая позволяет стабильно изготавливать детали без дефектов как со стандартными подсечками, так и с подсечками, которые выходят за пределы рекомендаций нормативной документации. На данную технологию подана заявка на получения патента №2017142652.

### Библиографический список

1. Белых С.В., Кривенок А.А., Первалов А.А. Обработка результатов контроля на ким деталей летательных аппаратов с использованием аппроксимации контура дугами // Авиационная промышленность. 2011. № 4. С. 2.
2. Ахатов Р.Х., Однокурцев К.А. Формализованный метод выбора и анализа сборочных баз в самолетостроении // Вестник Сибирского государственного

аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2009. № 2 (23). С. 232 - 237.

3. Иванов Н.Н., Ржечицкий Э.П., Немаров А.А., Сысоев И.А., Иванчик Н.Н., Пинаев А.А. Исследование аэродинамических параметров и эффективности «Сухой» газоочистки 6-ой серии электролиза филиала «Баз-суал» // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2015. Т. 1. С. 168 - 172.

4. Kondrat'ev V.V., Rzhechitskij E.P., Shakhrai S.G., Karlina A.I., Sysoev I.A. Recycling of Electrolyzer Spent Carbon-Graphite Lining with AluminumFluoride Regeneration // Metallurgist, 2016, vol. 60, no. 5-6, pp. 571 - 575.

5. Kondrat'ev V., Govorkov A., Lavrent'eva M., Sysoev I., Karlina A.I. Description of the heat exchanger unit construction, created in IRNITU // International Journal of Applied Engineering Research, 2016, vol. 11, no. 19, pp. 9979 - 9983.

6. Жилиев А.С., Говорков А.С. Формирование информационной модели изделия АТ в ПК "Система анализа ТКИ" // Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные проблемы технических наук». Сборник статей. (Уфа, 19 февраля 2014). - Уфа: Башкирский государственный университет, 2014. С. 56 - 58.

7. Ахатов Р.Х., Говорков А.С., Жилиев А.С. Разработка и внедрение программного комплекса "система анализа технологичности конструкции изделий" при запуске в производство изделий // IV Международная научно-практическая конференция «Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы

развития». Сборник трудов. (Ульяновск, 16-17 октября 2014). - Ульяновск: Ульяновский государственный университет, 2014. С. 13 - 14.

8. Говорков А.С., Ахатов Р.Х. Анализ технологичности изделия авиационной техники на основе информационного образа изделия // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 6-1. С. 285 - 292.

9. Лаврентьева М.В., Говорков А.С. Идентификация объектов структуры электронной модели изделия с помощью выявленных формализованных параметров из конструкторско-технологической среды // Труды МАИ. 2017. № 96. URL:

<http://trudymai.ru/published.php?ID=85930>

10. Лаврентьева М.В., Чимитов П.Е., Карлина Ю.И. Реализация алгоритма распознавания 3D-модели изделий авиамашиностроения // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 2 (54). С. 54 - 60.

11. 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.

12. 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.

13. Baranov A.N., Kondratiev V.V., Ershov V.A., Judin A.N., Yanchenko N.I. Improving the Efficiency of Aluminium Production by Application of Composite Chrome

Plating on the Anode Pins // International Journal of Applied Engineering Research, 2016, vol. 11, no. 22, pp. 10907 - 10911.

14. Cheslavskaya A.A., Mironenko V.V., Kolesnikov A.V., Maksimenko N.V., Kotov V.V. Choosing an Efficient Method for Forming Parts by Means of an Engineering Analysis Performed with the Use of a CAE System // Metallurgist, 2015, vol. 58, no. 11 - 12, pp. 1051 - 1059.

15. Khusainov R.M., Sabirov A.R., Mubarakshin I.I. Study of Deformations Field in the Working Zone of Vertical Milling Machine // Procedia Engineering, 2017, vol. 206, pp. 1069 - 1074.

16. Fabík R., Kliber J., Kubina T., Mamuzic I., Aksenov S.A. Mathematical modelling of flat and long hot rolling based on finite element methods (FEM) // Metalurgija, 2012, vol. 51, no. 3, pp. 341 - 344.

17. Chumachenko E., Aksenov S., Logashina I. Optimization of superplastic forming technology. METAL - 2012 // 21 st International Conference on Metallurgy and Materials. Conference proceedings, Osrrava, 2012, pp. 295 - 301.

18. Mokritskii B.Y., Vereshchagin V.Y., Mokritskaya E.B., Pyachin S.A., Belykh S.V., Vereshchagin A.S. Composite hard-alloy end mills // Russian Engineering Research, 2016, vol. 36, no. 12, pp. 1030 - 1032.

19. Белых С.В., Кривенок А.А., Мироненко В.В., Мишагин В.А. Определение положения пуансона в рабочем пространстве обтяжного прессы fet в процессе технологической подготовки производства // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 12 (83). С. 36 – 41.

20. Азаров Ю.А., Черноволов Р.А. Некоторые особенности моделирования динамической аэроупругости летательных аппаратов в трансзвуковых аэродинамических трубах // Труды МАИ. 2017. № 97. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=87164>

*Статья поступила в редакцию 30.11.2018*