



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АО «Ульяновский НИАТ»

Кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»

Кафедра «Технологии заготовительно-штамповочного производства»

**ИННОВАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ
ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
И УПРОЧНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ
В АВИАЦИОННОЙ И ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**I Всероссийская научно-производственная конференция,
приуроченная ко Дню науки
(Ульяновск, 10 февраля 2016 г.)**

Сборник научных трудов

Ульяновск
УлГТУ
2016

УДК 621.01(082)

ББК 34.41

И 66

УДК 621.01(082)

Инновации в технологиях формообразования листовых материалов и упрочнения технологической оснастки в авиационной и других отраслях промышленности. I Всероссийская научно-производственная конференция, приуроченная ко Дню науки (г. Ульяновск, 10 февраля 2016 г.) : сборник научных трудов. – Ульяновск : УлГТУ, 2016. – 139 с.

В сборник вошли тезисы докладов, представленных на I Всероссийской научно-производственной конференции, приуроченной ко Дню науки «Инновации в технологиях формообразования листовых материалов и упрочнения технологической оснастки в авиационной и других отраслях промышленности», проводимой АО «Ульяновский НИАТ» и УлГТУ.

Статьи печатаются в авторской редакции.

ISBN 978-5-9795-1513-7

© Коллектив авторов, 2016

© Оформление. УлГТУ, 2016

Состав организационно-программного комитета

Ярушкина Н. Г.	Председатель, первый проректор, проректор по научной работе Ульяновского государственного технического университета, д.т.н., профессор
Марковцев В. А.	Сопредседатель, генеральный директор АО «Ульяновский НИАТ», зав. каф. «Технологии заготовительно-штамповочного производства», к.т.н.
Гречников Ф.В	Зав. каф. «Обработка металлов давлением» СГАУ им. С.П. Королева (г. Самара), член-корр. РАН, д.т.н., профессор
Даниленко А.Н.	Доцент кафедры «Программные системы», председатель совета молодых ученых и специалистов СГАУ им. С.П. Королева (г. Самара), к.т.н.
Кокорин В. Н.	Зав.каф. «Материаловедение и обработка металлов давлением», д.т.н., профессор
Филимонов В. И.	Профессор кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением»
Милюков С. Ф.	Директор Ульяновского филиала ПАО «Корпорация «Иркут»
Рыжаков С. Г.	Директор Ульяновского филиала ПАО «Туполев»
Вашурин Р. Е.	Начальник ОХШ УГТ АО «Авиастар-СП»
Кошкина А. О.	Помощник ответственного секретаря Конференции, инженер-технолог ОХШ УГТ АО «Авиастар-СП»
Марковцева В.В.	Ответственный секретарь Конференции, м.н.с. АО «Ульяновский НИАТ»

Уважаемые коллеги!

Цель современной науки России – объединить имеющийся передовой теоретический потенциал с практикой освоения его в ведущих отраслях промышленности нашего государства. В этой связи научно-производственный комплекс, включающий технико-технологическую базу АО «Ульяновского НИАТа», перспективные теоретические разработки кафедр «Материаловедение и обработка металлов давлением» и «Технологии заготовительного-штамповочного производства» (ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет»), впервые организовали и утвердили в качестве ежегодной Всероссийскую научно-производственную конференцию «Инновации в технологиях формообразования листовых материалов и упрочения технологической оснастки в авиационной и других отраслях промышленности», приуроченную ко Дню российской науки.

Первостепенная задача организаторов Конференции состояла не только в объединении усилий тех, кто создает современный инновационный уровень научно-производственного комплекса. Нам хотелось также реализовать частный интерес: определить перспективные направления теории и практики формообразования листовых материалов и упрочения технологической оснастки, соответствующие развитой авиационно-промышленной отрасли, другим стратегическим направлениям промышленности России, Поволжского региона и Ульяновской области.

Тематика Конференции выявила широкий диапазон применения методов, способов, материалов, разрабатываемых и используемых в промышленности нашего государства. Мы рассчитываем на то, что состоявшийся обмен опытом участников Конференции станет залогом нашего дальнейшего плодотворного сотрудничества.

Оргкомитет Конференции

УДК 621.774.63

ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ГИБКЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Аврамец Д.Р.*Инженер-технолог 1 кат., АО «Авистар-СП», г. Ульяновск*

Введение

На сегодняшний день трубопроводные коммуникации являются неотъемлемой частью конструкции воздушного судна. Даже при бурном развитии техники электрических преобразователей, появлении энергоёмких накопителей и новых полупроводниковых приборов, полный отказ от применения систем транспортирования газообразных и жидких сред, чем, собственно, и являются трубопроводные коммуникации, дело далекого будущего.

Число трубопроводов в конструкции современного самолета составляет несколько тысяч (более 3500 у ИЛ-76МД90). Материалы, применяемые для их изготовления – Al-сплавы АМг2М, АМг3М, Ti-сплавы ПТ7-М, ВТ1-0, сталь Х18Н10Т. Устройство типичного трубопровода показано на рис.1.

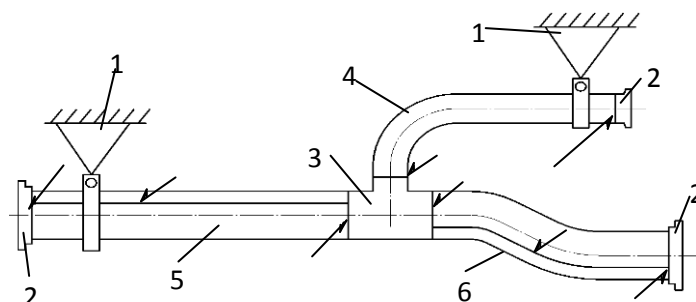


Рис. 1. Детали трубопровода: 1 – крепеж; 2 – фланцы; 3 – тройник;
4 – труба; 5 – патрубок; 6 – патрубок из полупатрубков

В общем случае трубопровод представляет собой сборочную единицу, состоящую из деталей арматуры (поз. 2, 3) и ствола (4, 5, 6) [1].

Повышение ресурса трубопроводов представляет собой комплексную задачу, объединяющую усилия разработчика по оптимизации узла с целью сокращения количества потребных трубопроводов, усилия конструктора по оптимизации их трассировки, усилия технолога по внедрению перспективных методов формообразования элементов трубопровода.

Одним из перспективных методов формообразования элементов трубопровода является гибка цельнотянутой трубы на станках с ЧПУ.

В настоящее время хорошо изучены и адаптированы под ЧПУ способы гибки на двух опорах, проталкиванием в валках, намоткой [2-4] и, в последнее время, проталкиванием через фильеру [5]. Среди данных методов гибки следует выделить способ гибки намоткой как наиболее универсальный и сравнительно легко параметризируемый. Кроме того, обычно, оборудование для гибки намоткой содержит также и функцию гибки проталкиванием в валках.

Оборудование

Схема гибки намоткой представлена на рис.2.

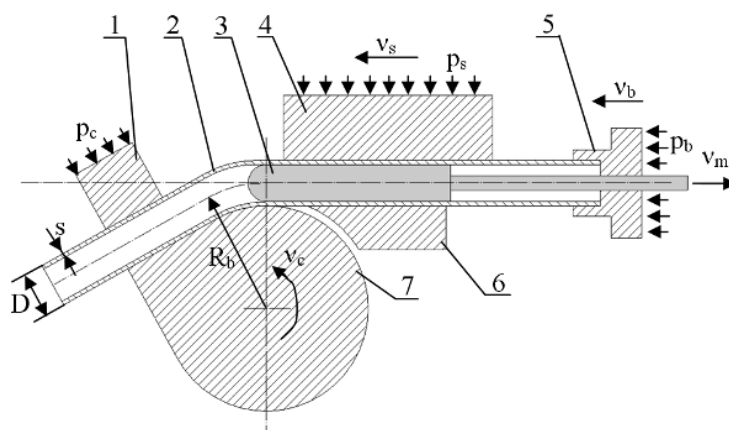


Рис. 2. Схема гибки намоткой: 1 – передний прижим; 2 – заготовка; 3 – дорн; 4 – задний прижим; 5 – бустер; 6 – складковыглаживатель; 7 – гибочный ролик

Для осуществления гибки намоткой необходимо выполнить три условия:

1. зажать заготовку трубы между передним прижимом и гибочным роликом;
2. обеспечить следование заднего прижима соответственно повороту гибочного ролика;
3. обеспечить отсутствие смещения нейтральной оси трубы (сплющивания) во время гибки посредством дорна.

Автоматические станки с ЧПУ выполняют кроме этих необходимых условий еще и функции позиционирования трубной заготовки и смену рабочего уровня оснастки, из-за чего появляется необходимость в дополнительных устройствах удержания трубы и осях позиционирования. Для автоматической гибки труб станки с ЧПУ должны иметь как минимум 6 управляемых осей, а для автоматической гибки по разным радиусам и в разных плоскостях гибки – 9 осей.

Обозначения осей во всех современных трубогибах с ЧПУ обычно одинаковы (рис. 3). Каждая ось способна работать как в режиме поддержания постоянства заданного положения (при этом усилие или момент может изменяться), так и в режиме поддержания постоянства

заданного усилия или момента (при этом положение оси может изменяться под воздействием внешних возмущающих факторов, например, появления и дальнейшего роста гофр). Выбор режима работы оси зависит от назначения оси и принятой схемы деформирования и является предметом обсуждения разработчиков подобного оборудования.

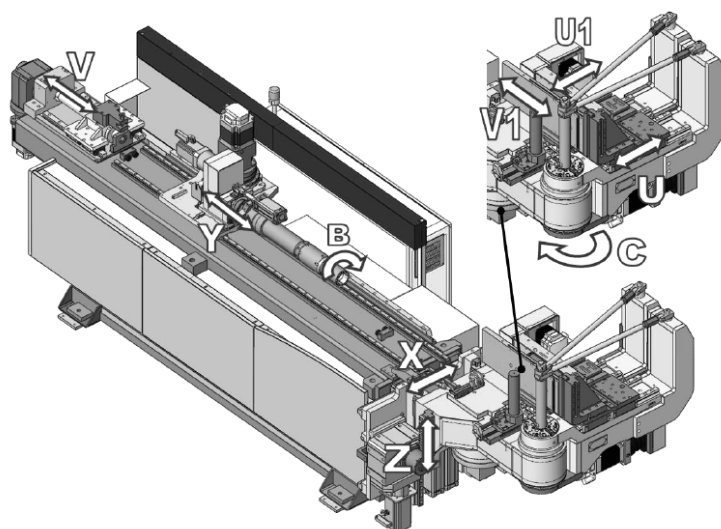


Рис. 3. Трубогибочный станок с ЧПУ СА963Е производства фирмы Stirra (Италия), имеющий 9 управляемых осей

Назначение осей следующее:

ось C – является ведущей осью, задавая уголгиба α со скоростью v_c – положения или усилия остальных осей так или иначе находятся в функциональной зависимости от ее положения;

ось U – передний прижим – осуществляет зажим заготовки с усилием p_c ;

ось $U1$ – ось поперечного перемещения заднего прижима со скоростью p_c – осуществляет поддержку внешней стенки заготовки с усилием p_s , сопротивляясь реактивному моменту, возникающему при деформировании;

ось $V1$ – ось продольного перемещения заднего прижима со скоростью v_s – способствует пластическому течению материала внешней стороны заготовки в зону гибки;

ось Y – ось продольного позиционирования заготовки, а также способна выполнять роль бустера, сопровождая заготовку со скоростью $v_b > v_c$ с передачей усилия на торец заготовки p_b , что позволяет создавать сжимающие напряжения в заготовке, способствуя уменьшению растягивающих напряжений на внешней стороне заготовки в зоне гибки;

ось V – ось продольного позиционирования дорна, следует отметить, что движения данной оси не являются только лишь установочными, – в ряде случаев дорн движется против направления течения материала со

скоростью $v_m = f(v_b)$, создавая сжимающие напряжения на внутреннем слое стенки внешней стороны заготовки в зоне гибки;

ось В – ось смены плоскости гибки, осуществляет вращение заготовки вокруг собственной (нейтральной) оси;

ось Х – ось поперечного позиционирования заготовки;

ось Z – ось вертикального позиционирования заготовки (оси Х и Z предназначены для смены гибочного радиуса, т.е. для перехода с уровня на уровень в случае применения многоуровневой оснастки).

Основными факторами, определяющими выбор оснастки и условия гибки являются: геометрия трубы (наличие только одного или нескольких радиусов гибки, расстояние между гибоми); материал трубы (относительное удлинение, склонность к деформационному упрочнению, трибологические характеристики и т.д.); относительная толщина стенки $\delta = \frac{D}{s}$ (при $\delta > 10$

труба считается тонкостенной); относительный радиус изгиба $r = \frac{R_b}{s}$ (гибка намоткой применяется при $r = 1 \dots 6$); безразмерный параметр (коэффициент сложности гiba) $g = \frac{D^2}{s \cdot R_b}$. Чем больше коэффициент g , тем более высокие

требования предъявляются к средствам поддержания формы поперечного сечения трубы и устойчивости ее стенки.

Таким образом, исходя из требований, например геометрии трубы, решается вопрос о применимости одноуровневой либо многоуровневой оснастки (рис.4).

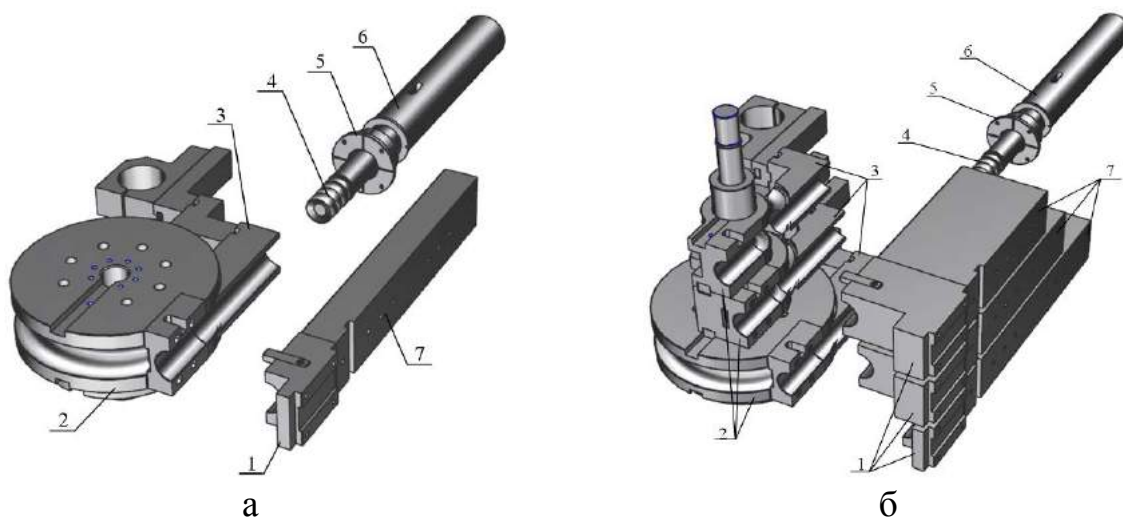


Рис. 4. Типовая оснастка для гибки намоткой: а) одноуровневая; б) многоуровневая (1 – передний прижим; 2 – гибочный ролик; 3 – складковыглаживатель; 4 – дорн; 5 – цанговый зажим; 6 – направляющая; 7 – задний прижим)

Особенностью многоуровневой конструкции является невозможность обеспечения сопровождения задним прижимом трубной заготовки со скоростью, равной скорости деформирования внешней стенки трубы. Действительно, в случае применения многоуровневой оснастки с радиусами гиба R_{b1} и R_{b2} , отличающихся, например, в 1,5 раза ($\frac{R_{b1}}{R_{b2}} = 1.5$), схему взаимного перемещения гибочного ролика с передним прижимом и заднего прижима можно представить на рис. 5 а.

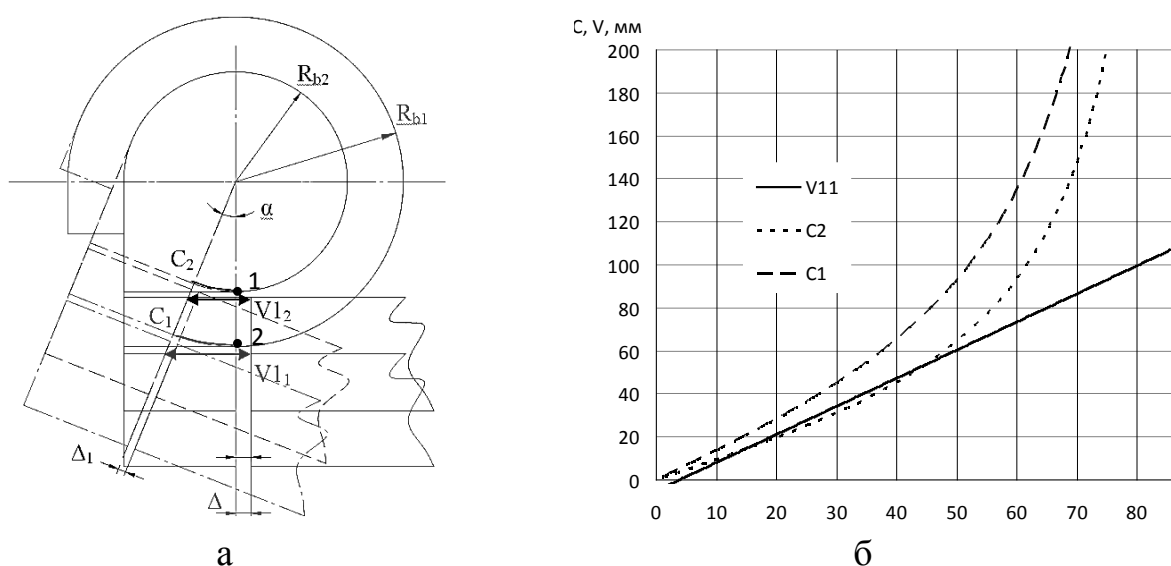


Рис. 5. Взаимное перемещение гибочного ролика и заднего прижима:
а) схема; б) перемещения точек на переднем и заднем прижимах

При повороте гибочной консоли на угол α тангенциальные перемещения точек 1 и 2 нейтральной линии заготовки будут различными в зависимости от радиуса гиба:

$$C_1 = R_{b1} \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

$$C_2 = R_{b2} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

Перемещения задних прижимов по осям $V1$ для разных уровней составят:

$$V1_1 = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot R_{b1}}{180} \cdot k_1 - \Delta \quad (3)$$

$$V1_2 = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot R_{b2}}{180} \cdot k_2 - \Delta \quad (4)$$

где Δ - конструктивный зазор между стойкой заднего прижима и гибочной консолью (5-15 мм); k - коэффициент скорости заднего прижима.

Приняв $R_{b1} = 75$ мм, $R_{b2} = 50$ мм, $\Delta = 5$ мм, $k_1 = k_2 = 1$ и решив уравнение $V1_1 = C_2$ относительно α , получим угол поворота гибочной консоли, при котором произойдет столкновение заднего прижима верхнего уровня с передним прижимом $\alpha = 14,4^\circ$ (рис. 5 б).

На практике, при использовании подобной оснастки в выражениях (3), (4), описывающих перемещение заднего прижима, принимают R_b равным наименьшему из имеющихся гибочных роликов в оснастке. При таком решении неизбежно возникает проскальзывание заготовки в задних прижимах, соответствующих большим радиусамгиба, поэтому задние прижимы в такой оснастке изготавливают из армированных пластмасс или иных материалов с низким коэффициентом трения, но достаточной прочностью и износостойкостью. Также возможно применение одного заднего прижима, перемещающегося вертикально по дополнительной 10-й оси, однако это применяется в основном на станках для гибки труб большого диаметра (свыше 50 мм).

Для гибки труб с малыми прямыми участками между гibaми, а также для гибки труб с заранее выполненной развальцовкой или зиговкой, с установленными фланцами применяют оснастку с профилированной зажимной частью (рис.6, а). Следует отметить, что применение подобной оснастки возможно только на станках, оснащенных ЧПУ, т.к. для совмещения изогнутой части заготовки с гибочным ручьем требуется точное ее позиционирование.

Для обеспечения гибки труб с относительным радиусом изгиба $\frac{R_b}{s} > 6$ применяют оснастку, показанную на рис.6, б.

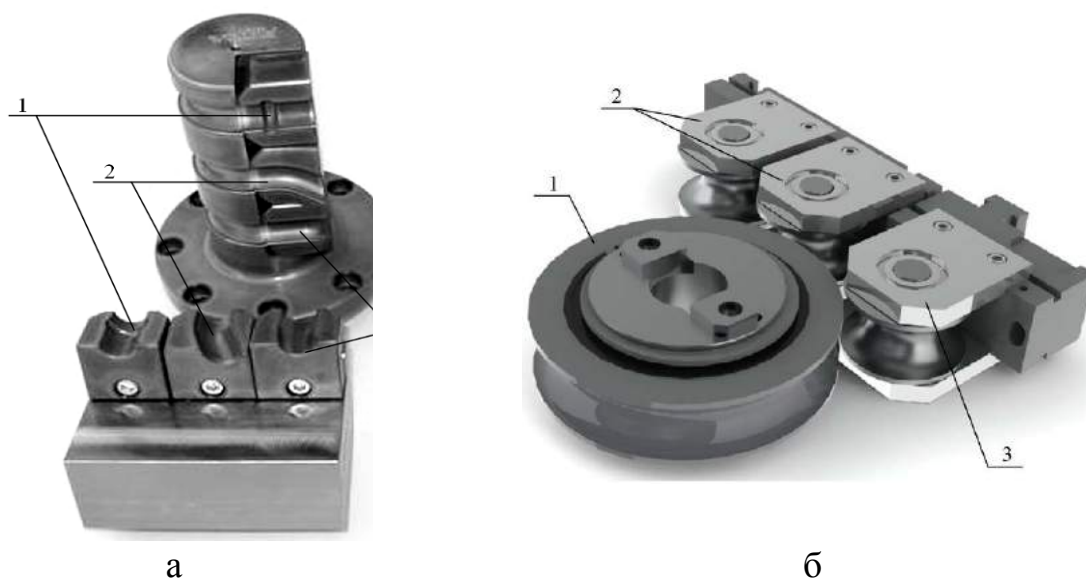


Рис. 6. Нестандартная оснастка: а) для гибки намоткой
(1 – профилированная зажимная часть для заготовок с фланцем;
2,3 – профилированная зажимная часть для заготовок с малой длиной прямого участка);
б) для гибки проталкиванием (1 – центральный гибочный ролик; 2 – ролики заднего прижима; 3 – ролик переднего прижима)

В этом случае станок работает в режиме гибки проталкиванием, когда ось продольного позиционирования Y проталкивает заготовку между роликами 1-3. Радиусгиба при этом задается совместным действием гибочной консоли - оси C и оси переднего прижима U .

Влияние параметров гибки

Для определения оптимальных параметров гибки намоткой были выполнены экспериментальные работы по деформированию заготовок из алюминиевого сплава АМг3М с внешним диаметром $D=50$ мм, толщиной $s=1$ мм на угол $\alpha=90^\circ$.

Заготовки деформировали на трубогибочном станке СА963Е с использованием оснастки с $Rb=1,5D$ ($Rb=75$ мм). После деформирования размечали согласно схеме на рис. 7.

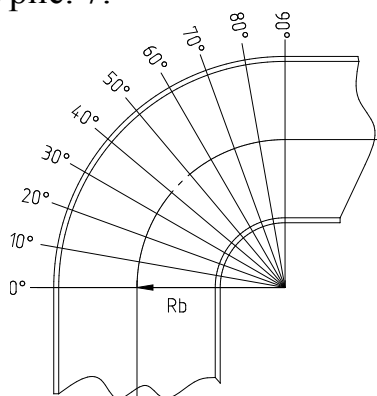


Рис. 7. Схема разметки образцов

В заданных сечениях определяли т.н. овализацию трубы:

$$\eta = \frac{|D_1 - D_2|}{D_1} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где D_1 и D_2 – диаметры трубы в двух взаимно перпендикулярных направлениях, измеренные штангенциркулем с ценой деления 0,05 мм.

Также в заданных сечениях определяли утонение стенок трубы по формуле:

$$t = \frac{t_1 - t_0}{t_0} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где t_0 – исходная толщина стенки трубы, t_1 – толщина стенки после деформирования.

Для измерений толщины использовали метод анализа изображений продольных макрошлифов деформированных заготовок, а также измерительную скобу-микрометр С-2-0,01.

Варьировали усилие прижатия заднего прижима p_s , скорость сопровождения заднего прижима v_s , а также параметры дорна.

Результаты

Зависимость утонения стенок с внешней и внутренней сторонгиба от усилия p_s коэффициента скорости продольного перемещения оси заднего прижима представлена на рис. 8. Значение усилия на заднем прижиге указано в % от максимально возможного на данной оси.

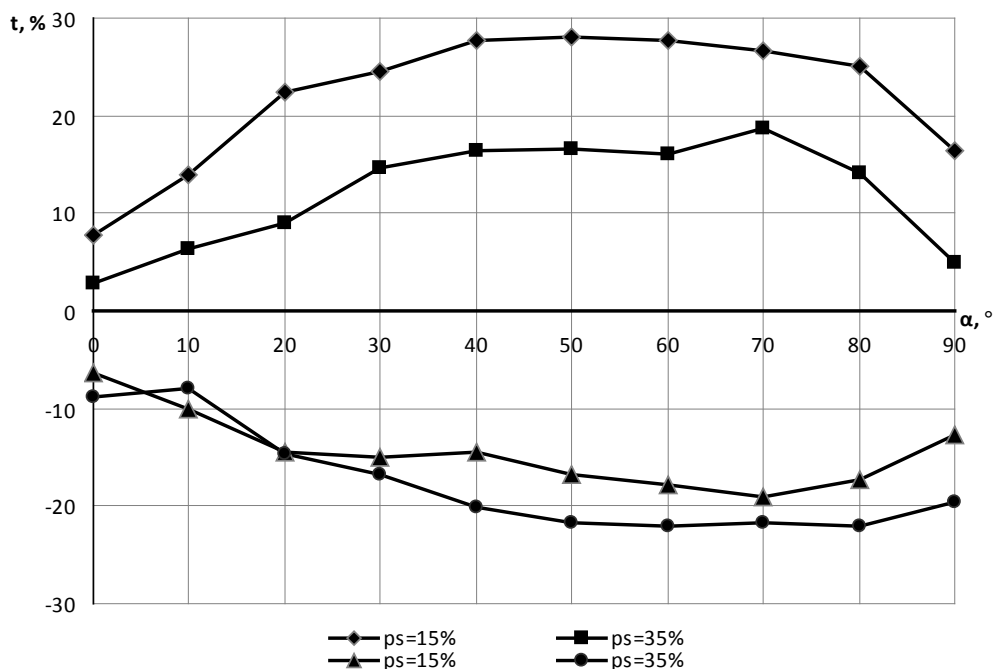


Рис. 8. Зависимость утонения стенок с внешней и внутренней сторонгиба от усилия на заднем прижиге

Результаты являются предсказуемыми и свидетельствуют о большем влиянии увеличения усилия прижатия заднего прижима на изменение толщины внешней стороныгиба, чем на утолщение внутренней. Увеличение силы прижатия прижима увеличивает трение между внешней поверхностью трубы и прижимом, что способствует облегчению пластического течения материала трубчатой заготовки.

Т.к. утолщение стенки трубы с внутренней стороныгиба было равномерным без заметного гофрообразования и как свидетельствуют работы [2-3] не является критичным параметром для оценки качества гибки, то в дальнейших экспериментах измерения утолщения стенки внутренней стороныгиба не проводили.

На рис. 9 представлена зависимость утонения наружной стенкигиба от скорости сопровождения заднего прижима, определяемым при заданном радиусе 75 мм коэффициентом k из ф-л (3) или (4) при усилии $p_s=35\%$.

При значениях углагиба, больших 35° утонение внешней стенки превышает 20%. Увеличение скорости сопровождения до $k=1,4$ способствует уменьшению утонения без заметного гофрообразования.

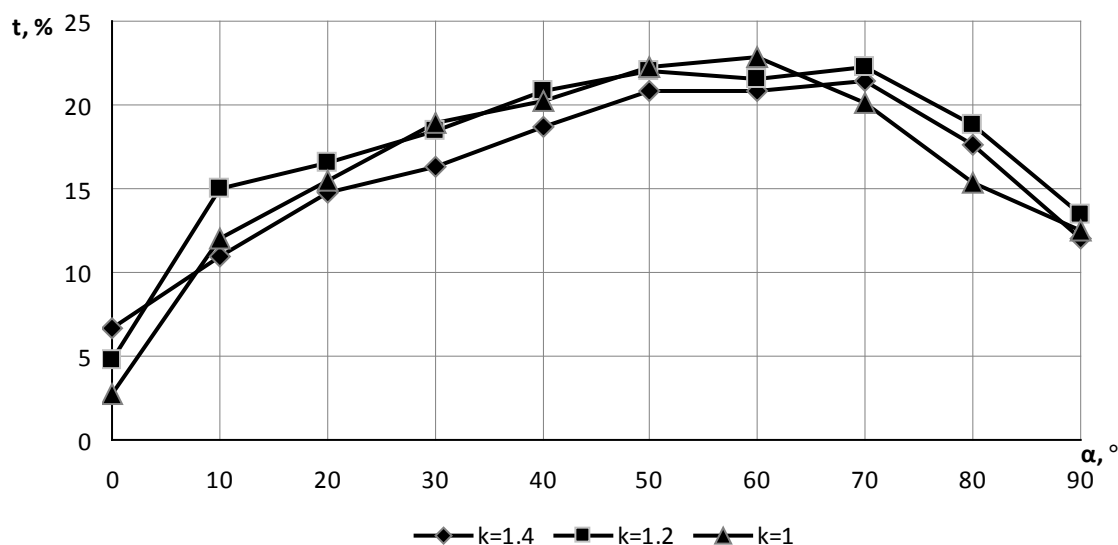


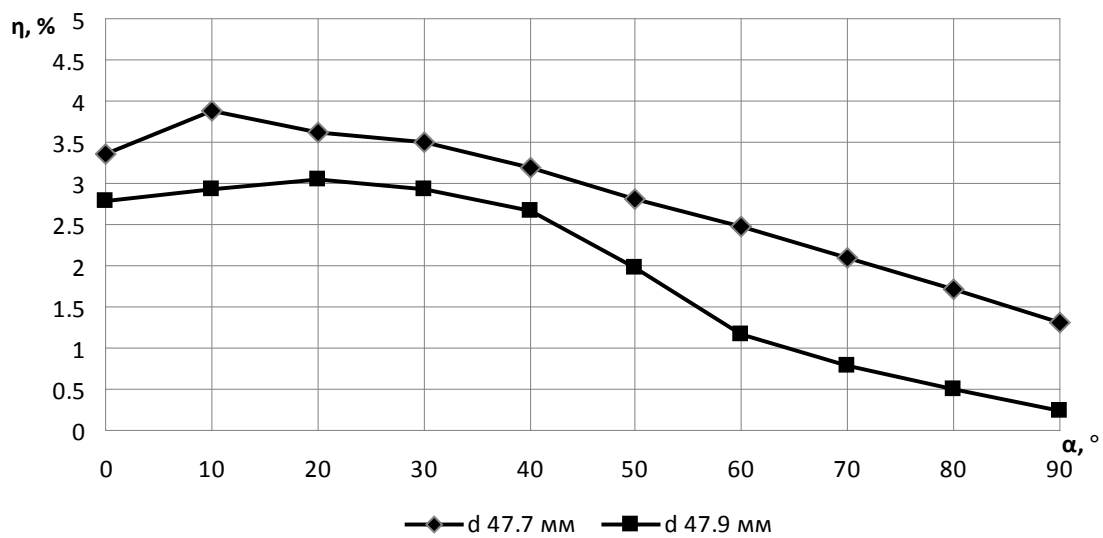
Рис. 9. Зависимость утонения наружной стенки гнба от скорости сопровождения заднего прижима

В дальнейшем были выполнена оценка влияния геометрических параметров дорна на качество гнбки, а именно, зазора между внутренними стенками трубы и поддерживающими звеньями дорна (рис. 10). Однако, т.к. непосредственные измерения зазора на практике трудно осуществимы, то измерялись максимальные диаметры звеньев дорна. Количество звеньев было равно 4. Материал дорна сталь К340 (Cr8Mo2VSi) 60HRC. Использовалась графитовая смазка типа «УССА» для трущихся поверхностей.

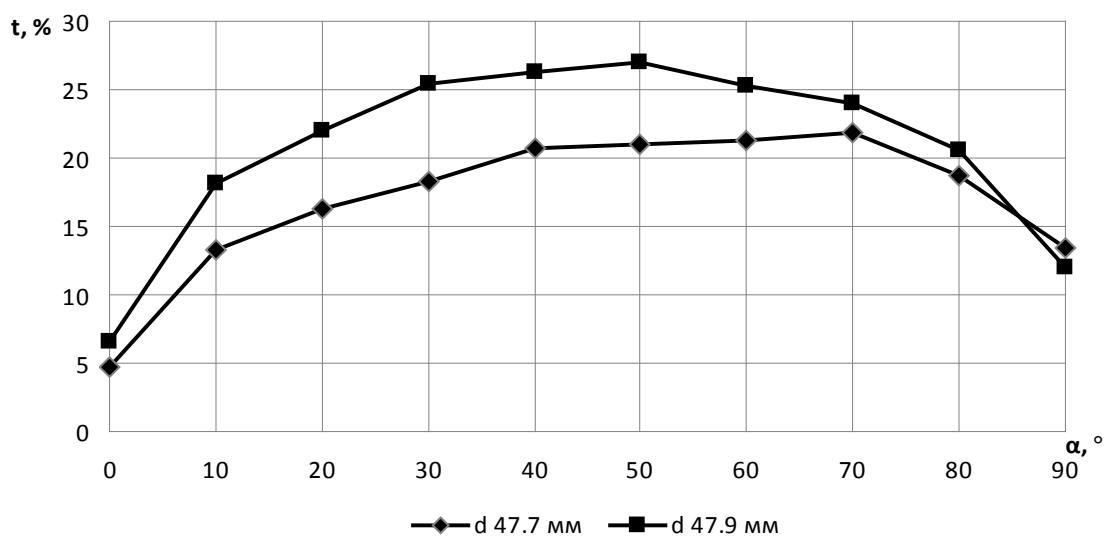
Видно, что увеличение диаметра звеньев дорна (т.е., уменьшение зазора между дорном и трубой) влечет за собой уменьшение овализации, но увеличивает утонение стенки трубы. Отсюда следует необходимость оптимизации диаметра звеньев до размера, при котором выполняются условия допуска на овализацию и утонение.

На рис. 11 представлена зависимость тех же параметров, т.е. утонения t наружной стенки гнба и овализации трубы η от количества звеньев дорна при диаметре звеньев 47,9 мм. Вид кривых аналогичен рис. 10, т.е., чем больше длина части дорна, находящейся в зоне гнбки – тем меньше овализация, но больше утонение и наоборот, что свидетельствует о сходной природе деформирования.

Т.о., целесообразным для описанного гнбка может быть применение «компромиссной» конструкции дорна с 4 звеньями и 2-я начальными звеньями меньшего диаметра.



а



б

Рис. 10. Зависимость утонения t наружной стенкигиба и овализации трубы η от диаметра сфер дорна

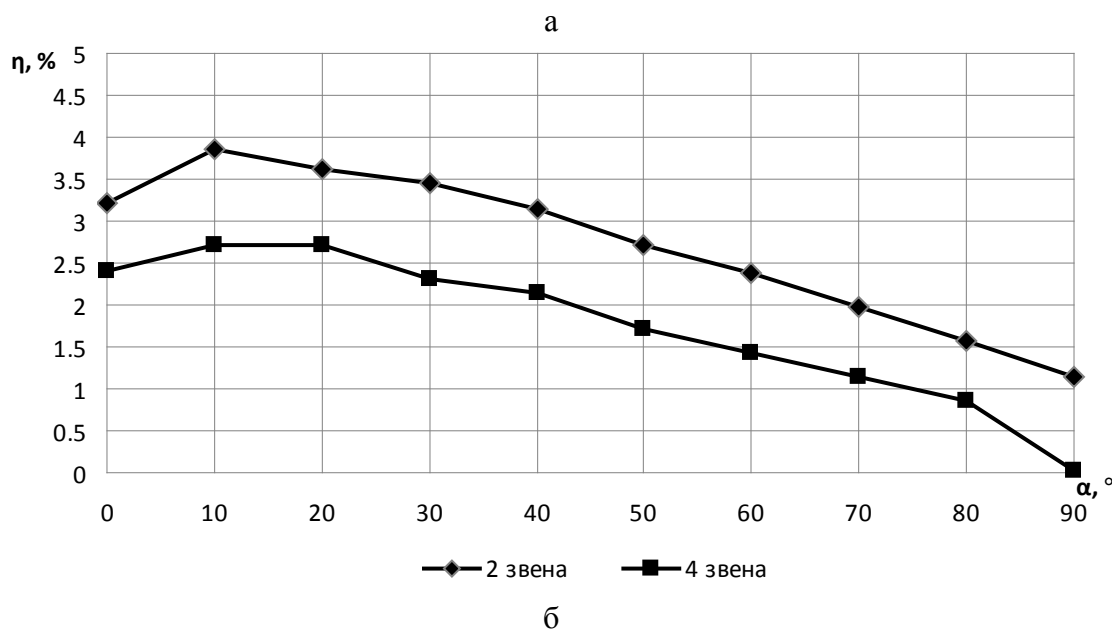
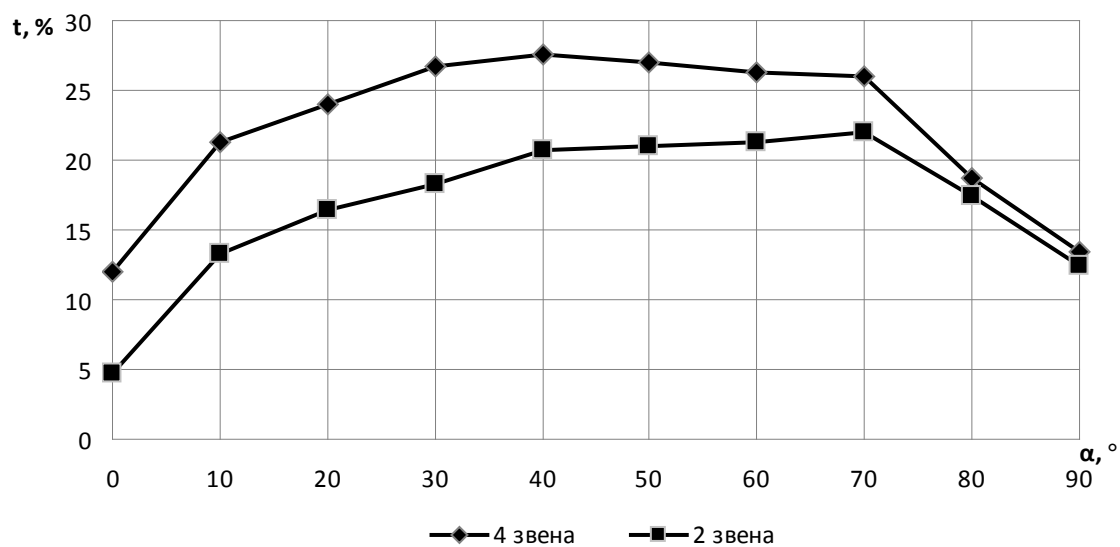


Рис. 11. Зависимость утонения t наружной стенки гiba и овализации трубы η от количества звеньев дорна

Выводы

Применение трубогибочных станков с ЧПУ, реализующих технологию холодной гибки труб по схеме намотки на ролик для сложных гибов с коэффициентом сложности от 35 до 60 является перспективным.

Существует большое количество параметров процесса гибки, при правильном выборе которых возможно получение гибов хорошего качества.

Трубогибочные станки с ЧПУ возможно применять как для гибки малых радиусов до $1D$, так и для больших радиусов, в том числе переменного значения при условии установки специальной оснастки.

Возможно использование фрикционных материалов для прижимов, данное направление требует изучения.

Конструкции дорнов следует уделять особое внимание.

Список литературы

1. PTM 1.4.1999-90 / под ред. Н.А. Смирновой. – НИАТ, 1991. – 235 с.
2. G. Miller, Tube forming processes: a comprehensive guide, SME, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan, 2003.
3. A. Mentella, M. Strano, R. Gemignani. /A new method for feasibility study and determination of the loading curves in the rotary draw-bending process Symposium MS03: Sheet Metal Forming International Journal of Material Forming April 2008, Volume 1, Supplement 1, pp 165-168.
4. L. Lăzărescu. Effect of internal fluid pressure on quality of aluminum alloy tube in rotary draw bending./ The International Journal of Advanced Manufacturing Technology Volume 64, Issue 1-4 , pp 85-91.
5. Murata, M. Conference Proceeding, International Tube Association, 1998, p.329.

УДК 621.981

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РЕЗКИ СДВИГОМ ДЕТАЛИ “ЗАГОТОВКА СТОЙКИ ПОЛЗУНА” НА ОСНОВЕ ПРОВЕДЕННОГО КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Баранов А.С.¹, Марковцев В.А.²

1 – начальник НИС-132, «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск

2 – к.т.н, генеральный директор АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск

Применяемые в настоящее время методы изготовления гнутых профилей устарели и не отвечают требованиям, предъявляемым к технологии и оборудованию. А именно компактность, мобильность, быстропереоснащаемость такого оборудования и малый срок окупаемости данной технологии и оборудования.

Поэтому разработка новой технологии, которая отвечала бы этим требованиям, является актуальной задачей в настоящее время.

Процесс резания, особенно для профилей сложного поперечного сечения является одним из важных процессов в обработке металлов давлением, в котором есть немало тонкостей. Все эти особенности позволяет учесть программа динамического анализа LS-DYNA, которую использует АО «Ульяновский НИАТ».

Математическое моделирование процессов формообразования позволяет показать поведение деформируемой заготовки на стадии проектирования технологической или конструкторской оснастки [1]. Однако для полного соответствия с реальным процессом должны быть заданы соответствующие модели материала заготовки, силовые параметры и ограничения. В данном случае математическое моделирование используется для моделирования процессов изготовления гнутых профилей и позволяет визуально показать, что будет происходить с заготовкой при заданной схеме формообразования в калибрах роликовой или штамповочной оснастки. Если в результате моделирования результаты будут не удовлетворительные, то разработчик может изменить предложенную им ранее технологию или конструкцию согласно данным, которые покажет моделирование. На базе этих результатов разработчику легче принимать правильные решения при проектировании рациональной или оптимальной технологической или конструкторской оснастки.

В настоящее время в автомобильной промышленности все чаще применяются профили сложного поперечного сечения, применяемые в различных механизмах и узлах автомобиля. Одним из таких изделий является сборочный узел направляющих салазок регулировки передних сидений автомобиля (в данном случае речь идет об автомобиле Chevrolet NIVA), который является объектом исследования в этой статье. Данный узел состоит из 2-х профилей различного поперечного сечения: заготовки стойки ползуна

(Т-образный профиль) (подвижный элемент, перемещающийся в продольном направлении на шариках определенного диаметра) и направляющая внутренних салазок (С-образный профиль) рис. 1.



Рис. 1. Сборочный узел направляющих салазок регулировки передних сидения для автомобиля

Одним из важных вопросов качественной сборки и работы изделия является сохранение поперечного сечения на всей длине детали ($L = 289$ мм). При резке детали в требуемый размер нарушается сечение в зоне реза, что приводит к сложности при сборке, особенно это касается детали “заготовки стойки ползуна” (Т-образного профиля). Следует отметить, что важной особенностью при проектировании штамповой оснастки является правильный выбор ножа, которым осуществляется резка. В данном случае речь идет об отрубном устройстве со стандартным типом штампа: входная полуматрица – нож – выходная полуматрица.

На стадии проектирования рассматривались 3 типа ножа: нож со смещенным центром реза, нож конусный копьевидный и нож конусный (рис. 2).

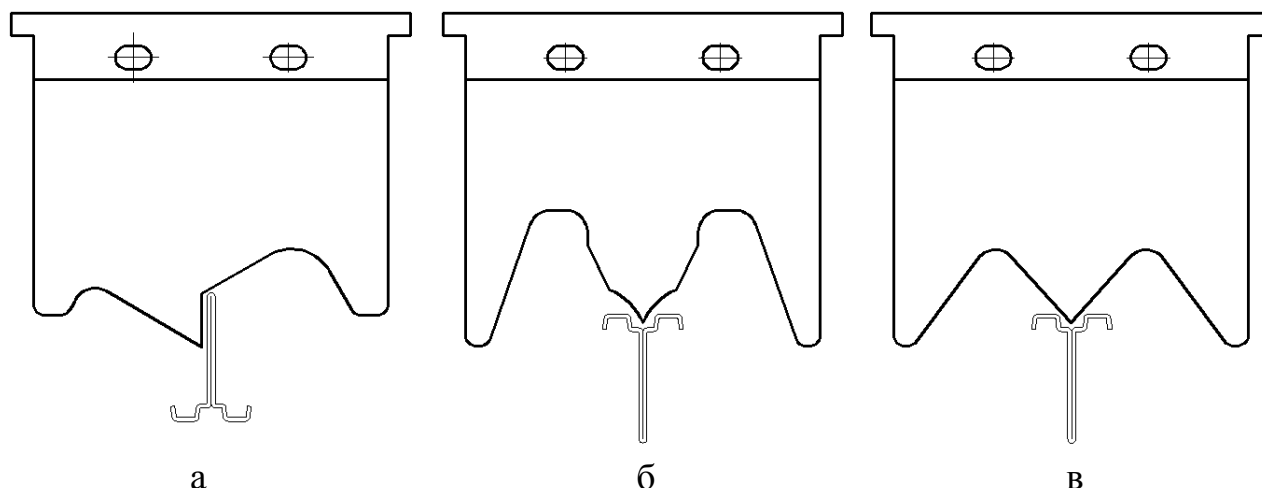


Рис. 2. Варианты ножей для резки в штампе стандартным способом: а – нож со смещенным центром реза, б – нож конусный копьевидный, в – нож конусный

Для определения оптимального типа ножа воспользовались методом конечных элементов в программе динамического анализа LS-DYNA.

Промоделировав все три представленных типа ножей, наиболее оптимальным является нож конусный копьевидный, т.к. происходит более плавный рез с наименьшим заусенцем в радиусных и торцевых зонах, усилие при этом составляет порядка 25-30 кН, отслоение по элементу двойной толщины не более 0,3-0,4 мм, что соответствует чертежу.

По результатам моделирования было изготовлено отрубное устройство, представленное на рис. 3



Рис. 3. Общий вид отрубного устройства со стандартным типом штампа

По данному штампу провели практическое испытание. На рис 4 а. представлен нож, изготовленный по результатам моделирования и подвергшийся испытаниям. В процессе длительной эксплуатации (осуществили порядка 3-3,5 тыс. ударов) стали проявляться риски и вмятины на ноже, износ режущей кромки и притупление копьевидного элемента. Соответственно на профиле появились заусенцы в торцевой части, изменение формы, как по горизонтальным полкам, так и в зоне ЭДТ (отслоение составило 0,8-1 мм) (рис. 4в). Потребовалась повторная шлифовка рабочей поверхности ножа, а также заточка копьевидного элемента. Данные операции проводили несколько раз. В результате, после 15 тыс. ударов нож пришел в негодность вследствие критического износа рабочих элементов (рис. 4 б).

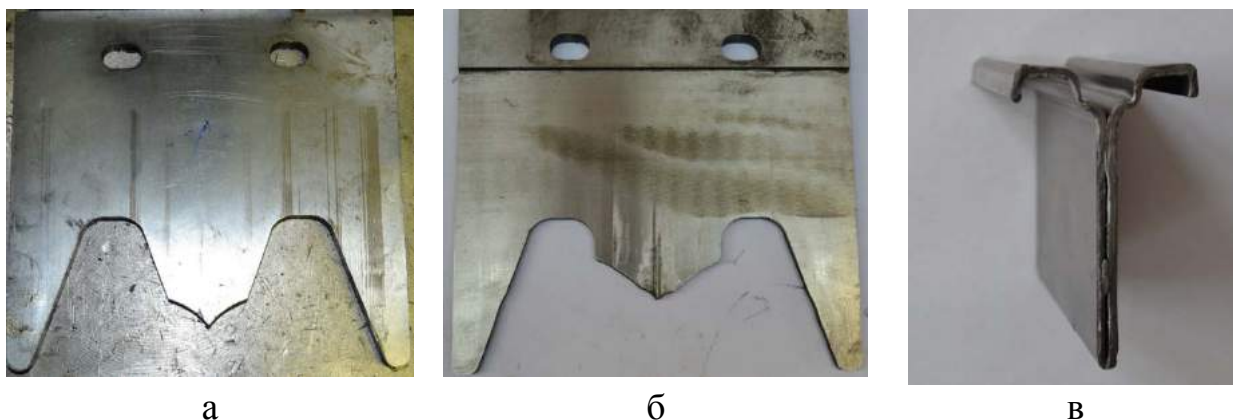


Рис. 4. Практические испытания по результатам моделирования:
а – испытуемый нож, б – нож после 15 тыс. ударов, в – сечение профиля после резки в штампе стандартным способом

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Задиры и отслоения в зоне реза на профиле,
2. Изменения размеров в торцевой части профиля,
3. Заусенцы в зоне реза по отбортовкам профиля,
4. Раскрытие элемента двойной толщины за счет пружинения,
5. Наклеп на ноже,
6. Малая стойкость ножа (3-3,5 тыс. ударов до первой шлифовки).
При этом максимальное количество ударов составляет 15 тыс.,
7. Наличие отхода материала (длина 5-10 мм).

На основании вышеизложенного было предложено разработать штамп, позволяющий устранить дефекты, которые выявлены в процессе реза стандартным отрубным устройством, повысить стойкость матриц, исключить отход материала, получить качественный срез профиля. Одним из вариантов может служить штамп, осуществляющий рез сдвигом одной матрицы относительно другой, т.е. схема имеет вид: входная полуматрица – выходная полуматрица.

Одним из немаловажных вопросов является выбор угла реза в соотношении с усилием, при котором произойдет срез заготовки, а так же качеством ее торцевой поверхности. В стандартном типе штампа рез осуществляется поэлементно, отделяя один элемент за другим. В нашем случае происходит одновременная резка всех имеющихся элементов в целом. По теоретическим расчетам усилие реза должно составлять $F = 100$ кН при угле реза 45° .

Для проверки адекватности предлагаемого типа штампа промоделировали процесс реза под различными углами, а именно 0° , 15° , 30° , 45° , 90° . На рис. 5 представлен график распределения усилий резки под различными углами положения профиля. В результате оптимальный угол реза в соотношении с качеством торца профиля и его сечения составил 45° . При таком положении профиля усилие реза составляет $F = 85$ кН, на торцевой поверхности отсутствуют заусенцы, отслоения по ЭДТ и сечение остается постоянным на всей поверхности детали.

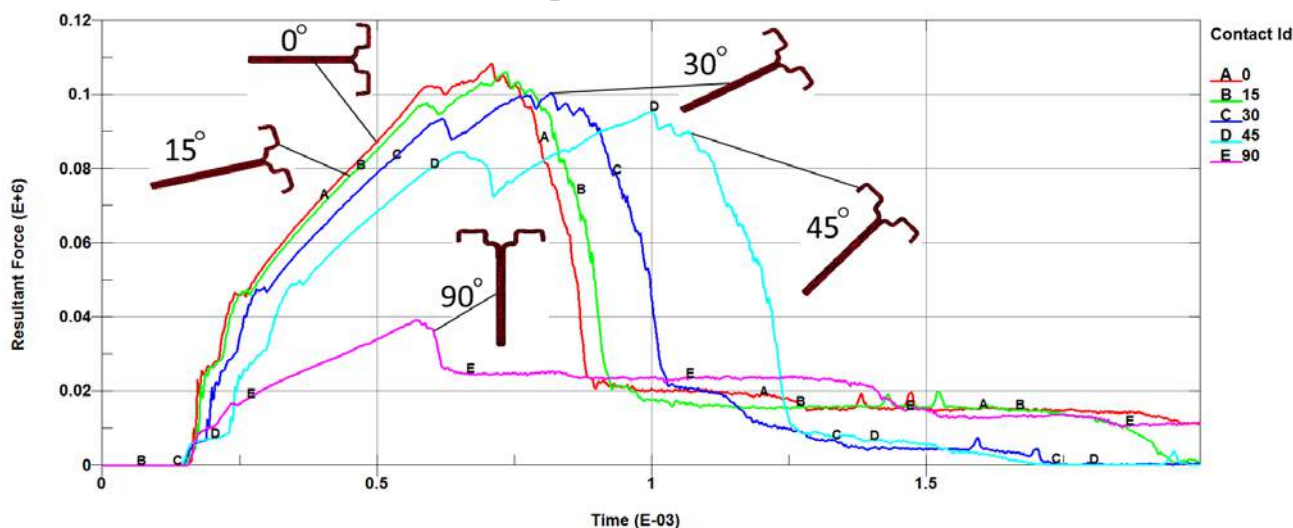


Рис. 5. График распределения усилий резки под различными углами положения профиля

По результатам моделирования было изготовлено отрубное устройство с предлагаемым типом штампа со сдвигом, представленное на рис. 6 а и матрица (входная и выходная) рис. 6 б.

В процессе практического испытания акцентировали внимание на качество поверхности отрезаемой детали. На рис. 6 в представлено фото образца профиля, полученного после резки штампом со сдвигом.

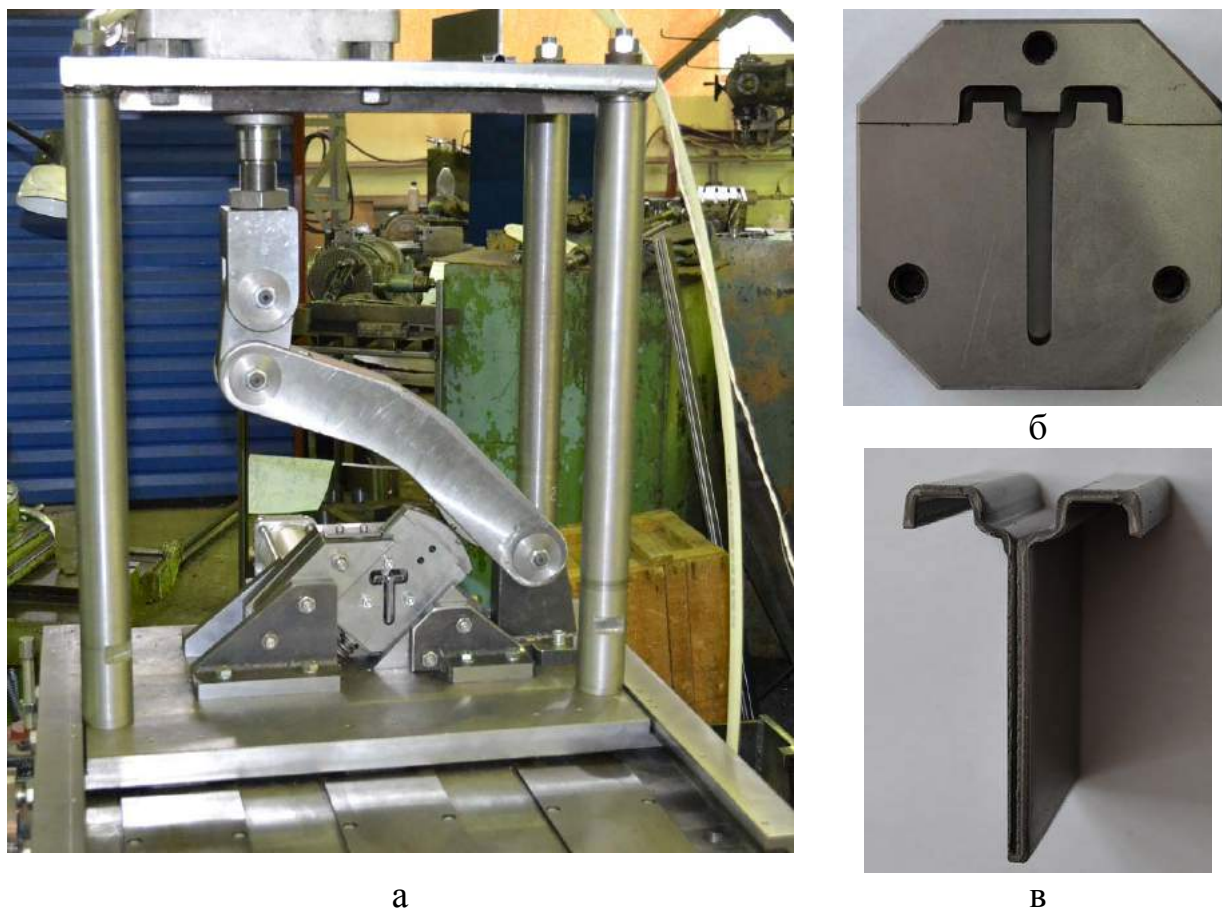


Рис. 6. Практические испытания штампа со сдвигом: а – общий вид отрубного устройства, б – нож, в – сечение профиля после резки в штампе со сдвигом

В процессе длительной работы штампа со сдвигом (осуществили порядка 125 тыс. ударов до первой шлифовки) качество реза осталось неизменным. Сечение профиля остается постоянным на всей длине. Такие дефекты как при резке стандартным штампом не проявлялись. Следует отметить, что стойкость матриц возросла в 40 раз, что существенно снизит стоимость штампового инструмента.

Выводы

Результаты моделирования приведенных типов штампов и анализ с практическими результатами позволил говорить, что применяемое в АО «Ульяновский НИАТ» программа динамического анализа LS-DYNA хорошо подходит для исследования схем роликовой и штамповой оснастки и может быть применена для исследования ответственных процессов, например для авиационной промышленности [2,3].

По результатам конечно-элементного моделирования разработано и внедрено в производство отрубное устройство со штампом сдвигом, позволяющий осуществлять качественный срез детали «заготовка стойки ползуна», с сохранением размеров поперечного сечения на всей длине изделия.

Увеличенная стойкость штампового инструмента позволяет существенно снизить его стоимость.

Отсутствие таких дефектов как задиры и отслоения в зоне реза, изменения размеров в торцевой части, заусенцы по отбортовкам профиля, раскрытие элемента двойной толщины за счет пружинения.

Данный тип штампа можно использовать и для других профилей сложного поперечного сечения, требующих высокое качество поверхности.

Список литературы

1. Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Баранов А.С. Математическое моделирование в программе LS-DYNA процесса изготовления гнутых перфорированных профилей на автоматизированной линии на базе станка ГПС // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП-2010 года): материалы 7-й Всероссийской научно-техн. конф. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-т, 2010. – С. 53-57.

2. Лапин В.В., Баранов А.С., Филимонов С.В. Особенности отработки технологии изготовления в роликах Т-образного профиля типа // Формообразование гнутых профилей: теория и практика. (2012 г.): Сборник научных трудов / под науч. ред. д-ра техн. наук, профессора В.И. Филимонова. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – С. 40-46.

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

УДК 621.981

ОСЛАБЛЯЮЩАЯ ПЕРФОРАЦИЯ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ**Дементьев К.С.¹, Филимонов В.И.²***1 – аспирант каф. «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск**2 – д.т.н., профессор каф. «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск*

Перфорированные профили различной конфигурации сечения (уголки, швеллеры, некоторые виды сайдингов и особенно профили замкнутого сечения), изготавливаемые в роликах профилировочных станков, широко применяются в строительной индустрии в качестве несущих конструкций или их элементов.

Чувствительность конструкции перфорированного профиля к внешним нагрузкам существенно зависит от его типоразмера, топологии, форм и размеров отверстий, а также от механических свойств материала заготовки. Вид напряжённого состояния зависит в свою очередь от типа нагрузки: осевое нагружение, изгиб, кручение, срез. При заданном коэффициенте запаса прочности задача состоит в минимизации массы конструкции при варьировании геометрии поперечного сечения профиля и параметров перфорации (топология, форма и размеры отверстий).

В работе [1] показано, что замкнутая форма поперечного (преимущественно кругового) сечения профиля с вырезами обладает наибольшей весовой отдачей. Расположение и форма отверстий оказывают значительное влияние на поведение конструкции под предельными нагрузками. При рядном расположении круговые и эллиптические отверстия, образующие «пустые» углы квадрата на теле трубчатой детали, дают оптимистичные результаты в отношении несущей способности указанной детали, подверженной осевому сжатию или изгибу. Однако трубчатые детали с рядной круговой перфорацией, образующей «пустые» углы ромба, лучше работают на кручение.

Кроме рядного расположения отверстий, возможно их спиралевидное расположение, однако данные по оптимальному шагу спирали, размерам и плотности расположения отверстий на спирали, несущей способности замкнутых профилей с заданным соотношением диаметра к толщине стенки отсутствуют.

Как известно, перфорация снижает несущую способность профиля, поэтому в последние годы уделялось большое внимание повышению жёсткости или прочности краёв отверстий для повышения общей несущей способности профиля [2].

В тонколистовом материале можно выполнять отверстия с наклонными, прямыми, фланцованными или рифлёными отбортовками, а также упрочнять прилегающие к отверстию зоны за счёт чеканки или выполнения круговых каннелюр. Для профилирования предварительно

перфорированной заготовки в роликах интенсивным деформированием [3] наиболее приемлемым способом упрочнения является упрочнение краёв отверстий чеканкой, совмещённой с перфорацией. Однако и в этом случае подгибаемые полки с локальными участками неравномерного упрочнения имеют большую склонность к потере устойчивости при профилировании, чем при формовке профиля с цельными подгибаемыми полками. Что касается других видов упрочнения, то наличие отбортовок или каннелюр «во внутрь» требует высвобождения в калибрах, что приводит к усложнению технологического оснащения, а расположение отбортовок или каннелюр «во вне» приводит к концентрации сил на малых локальных участках бортов, их смятию или излому формуемой полки.

Выполнение отверстий и упрочнение краёв отверстий готовых цельных профилей закрытого типа представляет собой довольно сложную технологическую задачу, хотя перфорацию и упрочнение краёв отверстий готового профиля открытого сечения можно выполнять в специальных штампах.

Цель работы: выявление влияния размеров круговых отверстий и их расположения на несущую способность профиля при сжатии, изгибе и кручении – наиболее часто встречающихся на практике видах нагружения.

В качестве объекта исследования рассматривали варианты нагружения трубы с размерами, приведенными к толщине заготовки: внешний относительный диаметр – 20; приведенная длина трубы – 40 (рабочая часть), а также трубы с перфорацией (круговые отверстия с относительным диаметром 2,5; 3,4; 4,3; 4,9 и 5,5 располагали по телу трубы в четырёх рядах по пять отверстий, с равномерными промежутками между ними, или по спирали, с сохранением общего числа отверстий при их равномерном расположении по поверхности трубы). Выбранные размеры отверстий в среднем соответствовали уровням ослабления сечения отверстиями в 10, 20, 30, 40 и 50%.

Изучение несущей способности образцов проводили моделированием испытаний образцов в модуле ANSYS LS-dyna с закрепленным одним концом. Первоначально проводили исследования с цельными образцами, а затем – с образцами с рядной перфорацией и с перфорацией по спиральной линии. Затем все нагрузки по группам испытаний приводили к критической нагрузке цельной детали (обратные зависимости), включая силу,

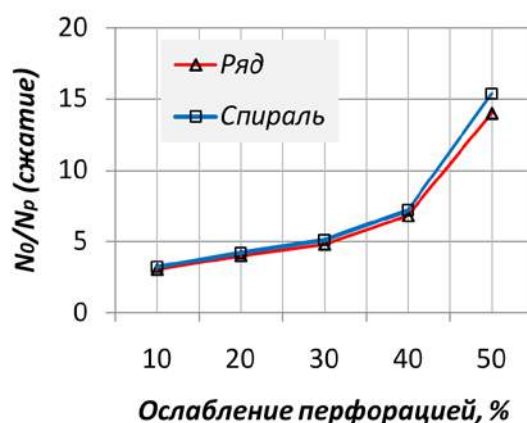


Рис. 1. Сравнительные графики предельных нагрузок при сжатии профиля, соотнесённых с предельными нагрузками цельного профиля

участвующую в крутящем моменте при испытании на кручение. На рис. 1 – 3 представлены результаты моделирования, а в нижеприведенной таблице даны результаты интерполяции соответствующих кривых с указанием уровня достоверности аппроксимации.

Испытание	Топология отверстий	Расчётная аппроксимирующая зависимость
Сжатие	Рядная	$\eta_c^p(\xi) = 1,114\xi^2 - 3,946\xi + 6,60; R^2 = 0,9619$
	Спиральная	$\eta_c^c(\xi) = 0,971\xi^2 - 3,349\xi + 5,88; R^2 = 0,9511$
Изгиб	Рядная	$\eta_{\text{и}}^p(\xi) = 1,200\xi^2 - 4,44\xi + 7,54; R^2 = 0,9619$
	Спиральная	$\eta_{\text{и}}^c(\xi) = 1,214\xi^2 - 4,986\xi + 8,12; R^2 = 0,9511$
Кручение	Рядная	$\eta_k^p(\xi) = 1,771\xi^2 - 6,589\xi + 8,46; R^2 = 0,9427$
	Спиральная	$\eta_k^c(\xi) = 1,764\xi^2 - 6,616\xi + 8,12; R^2 = 0,9541$

где $\eta = N_0/N_p$ (отношение критической нагрузки для цельного и перфорированного профиля соответственно); $\xi = S_{\text{отв}}/S_{\text{бок}}$ (отношение площади отверстий к площади боковой поверхности профиля); верхний индекс относится к топологии отверстий (рядная и спиральная), а нижний индекс указывает на вид испытания

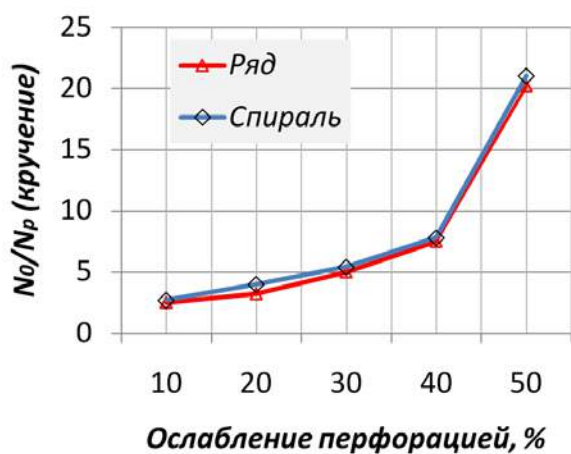


Рис. 3. Сравнительные графики предельных нагрузок при кручении профиля, соотнесённых с предельными нагрузками цельного профиля

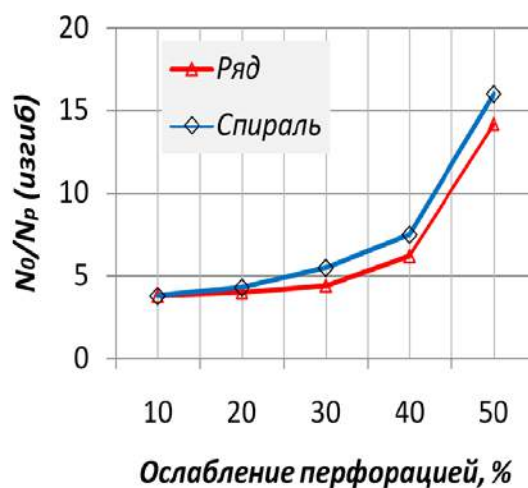


Рис. 2. Сравнительные графики предельных нагрузок при изгибе профиля, соотнесённых с предельными нагрузками цельного профиля

При сжатии профиля (рис. 1) топология отверстий практически не оказывает никакого влияния при малой степени перфорации. Однако более тонкий анализ показывает, что при развитых пластических деформациях возникает касательная сила, которая для рядного расположения отверстий практически не изменяется с увеличением площади перфорации, а для спирального расположения отверстий резко падает.

Те же самые закономерности характерны и для изгиба профиля (рис. 2), включая касательные силы.

Хотя при кручении влияние топологии также незначительно (рис. 3), однако касательные составляющие для рядного и спирального расположения отверстий резко уменьшаются с увеличением уровня перфорации, причём для рядного расположения отверстий такое падение является более крутым.

В целом, эти результаты согласуются с данными работы [1] и позволяют сделать следующие выводы:

1. Наличие перфорации создаёт концентраторы напряжений при нагрузках, близких к критическим, и в целом снижает в 3 – 4 раза уровень критических напряжений независимо от вида нагружения профиля.

2. Топология отверстий несущественно влияет на предельные параметры нагружения независимо от его вида.

3. Уровень перфорации существенно влияет на несущую способность перфорированного профиля, так что для несущих элементов конструкций ослабление их перфорацией не должно превышать 30 – 40%.

4. Несущую способность перфорированных профилей, предназначенных для несущих конструкций, следует проверять конечноэлементным моделированием на стадии разработки конструкции.

Список литературы

1. Woo Y.P., Chua Y.S., Choong K.K. Effects of Perforation Area and Arrangement Pattern on Structural Behaviour of Nature Inspired Perforated Hollow Structure // Iranica Journal of Energy and Environment, 2013. No. 4. P. 171 – 177.

2. Han X.P., Li L.X., Zhu X.P., Yue Z.F. Experimental Study on the Stitching Reinforcement of Composite Laminates with a Circular Hole // Composites Science and Technology, 2008. No. 68. P. 1649 -1653.

3. Гудков И.Н., Филимонов В.И. Формообразование перфорированных профилей в роликах. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 117 с.

УДК 621.4

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ КОНИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССОВ ОТБОРТОВКИ И ФОРМОВКИ

Демьяненко Е.Г.¹, Епифанов А.Н.²

*1 – к.т.н., доцент каф. «ОМД» СГАУ имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет), г. Самара*

2 – магистр 1 года каф. «ОМД» СГАУ имени академика С.П. Королёва, г. Самара

В авиа- и двигателестроении широко используются тонкостенные осесимметричные детали. К ним предъявляются высокие требования по механическим, эксплуатационным свойствам, а также по геометрическим параметрам, в том числе и по толщине детали.

Тонкостенные осесимметричные детали усечённой формы с максимально равномерной толщиной стенки вдоль образующей могут быть получены при совмещении процессов формообразования [1], например, отбортовки и формовки. Такой способ возможно реализовать предлагаемым устройством (см. рисунок 1), в котором коническая заготовка устанавливается в матрице с тем же углом конусности, что и заготовка. В свою очередь, заготовка прижимается коническим прижимом по части, которая ближе к большему торцу, где происходит наибольшее утонение при отбортовке. Процесс отбортовки протекает до момента, пока заготовка не коснется рабочей поверхности пуансона со стороны малого торца и не прижмется к упругому элементу. При дальнейшем движении пуансона вниз протекает процесс формовки, при котором нижняя часть заготовки зажимается между пуансоном и упругим элементом.

Ранее используемые устройства не лишены недостатков. Например, использованный в них нижний прижим, является жестким и не обеспечивает равномерного зажима заготовки по всей его рабочей поверхности. Кроме того, при протекании процесса имеет место большое усилие деформирования упругого элемента, которое обусловлено дополнительным сжатием.

Предлагаемая конструкция устройства обеспечивает равномерный прижим заготовки по всей поверхности нижнего зажима и повышение выхода годного металла. Это достигается за счет устранения технологического припуска заготовки под нижним зажим, уменьшения усилия процесса деформирования и получение более качественной детали за счет получения равномерной толщины по всему объему заготовки.

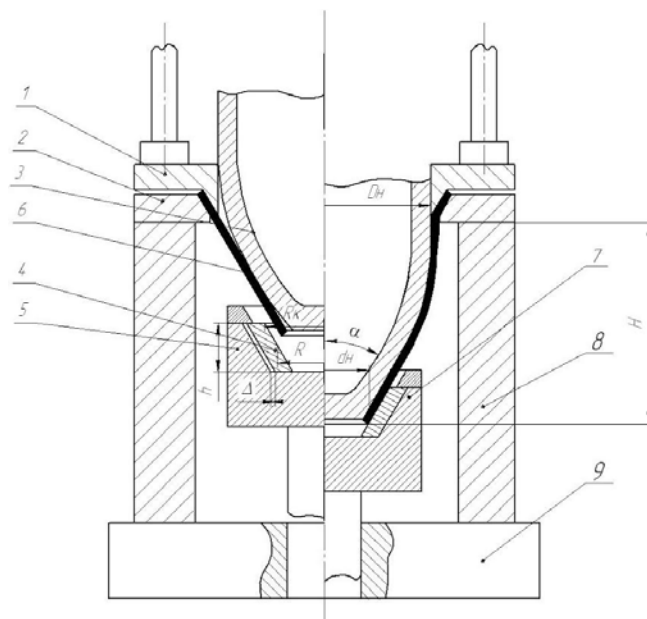


Рис. 1. Устройство для отбортовки и формовки

- 1 – верхний конический прижим; 2 – коническая матрица; 3 – пуансон;
 4 – упругий элемент; 5 – нижний прижим; 6 – заготовка; 7 – опорное кольцо;
 8 – контейнер; 9 – плита штампа

Данный способ был смоделирован в программном комплексе Ram-Stamp 2G (ESI Group), что позволило определить (теоретические) оптимальные условия для формообразования, а именно установлены параметры: коэффициент трения между заготовкой и пуансоном, заготовкой и матрицей, заготовкой и верхним прижимом, заготовкой и упругим кольцом; величина перемещения пуансона, его усилие; величина технологического припуска под верхним прижимом.

Для дальнейшего исследования поставили задачу проведения экспериментов в лабораторных условиях со штампом, реализующем схему (см. рисунок 1) для получения минимальной разнотолщинности тонкостенных осесимметричных деталей усеченной сужающейся (выпуклой)

формы из конических заготовок при отношении $\frac{S_{заг}}{D_n} < 0,008$ [2] способом отбортовки и формовки. Начальным этапом проведения опытов в данном случае является подготовка заготовок к эксперименту.

Определение размеров конической заготовки

Размеры конической заготовки (см. рисунок 2) определены с учетом размеров штамповой оснастки: $d=21\text{мм}$, $D=53\text{мм}$, $\alpha=18^\circ$.



Рис. 2. Заготовка конической формы

Для построения развертки из условия равенства длин окружностей большего и меньшего диаметров, образующей конической оболочки, длинами дуг и высотой развертки имеем (см. рисунок 3):

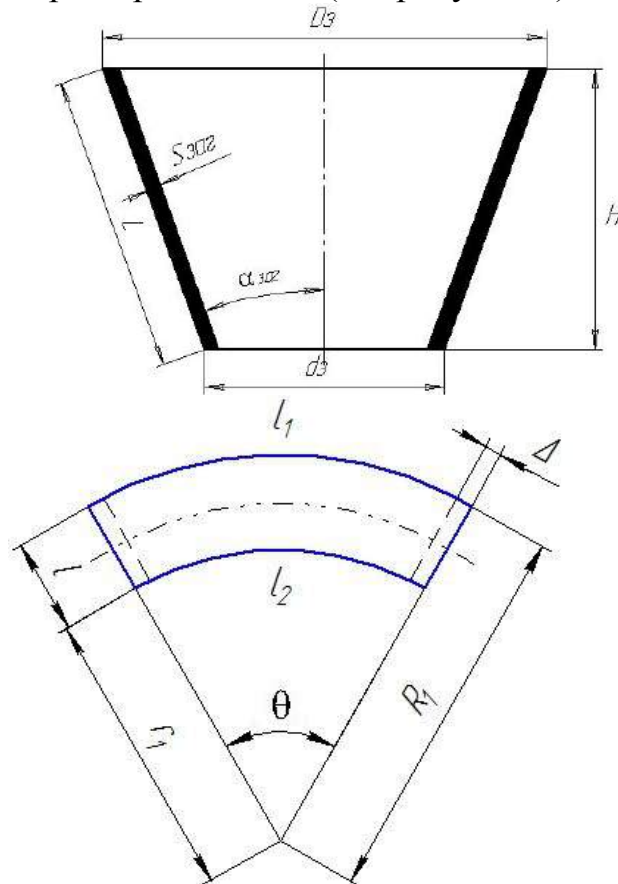


Рис. 3. Схема заготовки и развертки

$$R_1 - r_1 = \frac{D_3 - d_3}{2 \sin \alpha_{302}}, \quad l_1 = \pi D_3 = R_1 \theta, \quad l_2 = \pi d_3 = r_1 \theta,$$

где l_1 и l_2 - длины дуг;

θ - угол развертки;

R_1 - расстояние от центра развертки до ее большего основания;
 r_1 - расстояние от центра развертки до ее меньшего основания;
 d_3 - диаметр меньшего основания заготовки с учетом припуска под зажимы;

D_3 - диаметр большего основания заготовки с учетом припуска под зажимы.

Решив систему 3-х уравнений относительно R_1, r_1, θ , получим:

$$\theta = 2\pi \sin \alpha_{\text{заг}}, \quad (1)$$

$$R_1 = \frac{l_1}{\theta}, \quad (2)$$

$$r_1 = \frac{l_2}{\theta}. \quad (3)$$

В результате расчетов по приведенным выше формулам получены данные, по которым построили развертку: $\theta = 1,94 \text{ рад} = 111^\circ 25'$, $l_1 = 166,5 \text{ мм}$, $l_2 = 65,97 \text{ мм}$, $R_1 = 85,76 \text{ мм}$, $r_1 = 33,98 \text{ мм}$.

Методика расчета соединительного шва для конусной заготовки

1. Расчёт размеров развертки в виде сектора с учетом припуска на шов Δ (см. рисунок 3) производится по известным формулам (1) - (3).

2. Кромки плоской заготовки загибаются на радиус, равный толщине заготовки по срединной поверхности.

3. Плоская заготовка сворачивается в конус по оправке и соединяется по шву (см. рисунок 4).

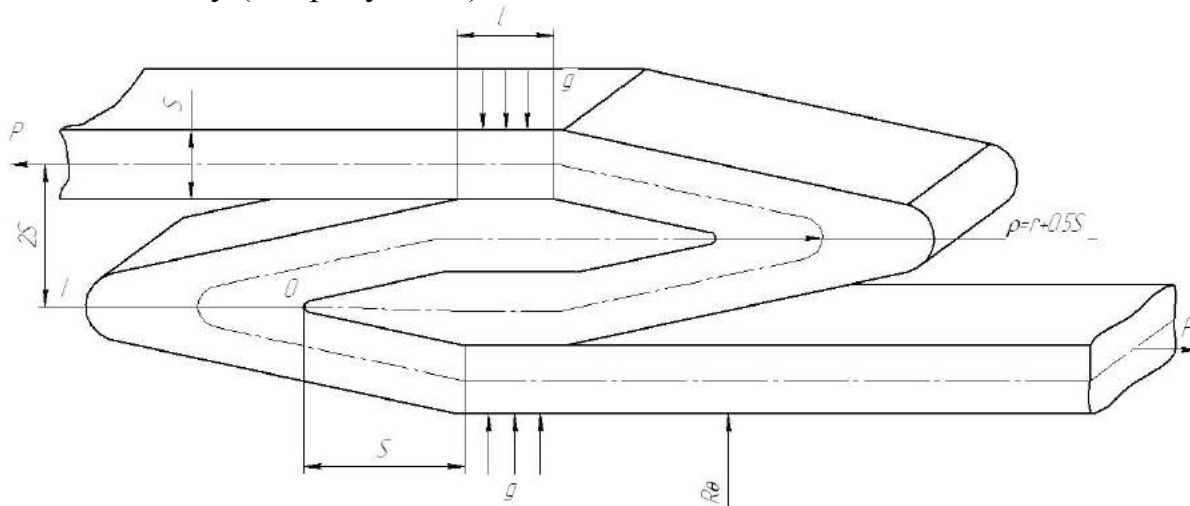


Рис. 4. Схема соединительного шва

Ввиду того, что внутренний радиус $r_{\text{вн}} = 0$, дополнительное напряжение растяжения на согнутом участке l можно считать равном нулю, и потому в сечении 0-I действует момент от внешних сил, преодолевающий момент сопротивления от внутренних сил. Однако момент от действия давления q

относительно сечения 0-I направлен в противоположную сторону от момента сил P . Уравнение равновесия моментов примет вид:

$$M_p + M_q = M_\epsilon, \quad (4)$$

где M_p, M_q, M_ϵ - моменты от действия внешней силы P , внешней силы прижима от давления q и внутренних сил сопротивления на единицу ширины [3].

С учетом принятой схемы имеем:

$$M_p = P \cdot 2S = 2\sigma_{0,2} S_{\text{заг}}, \quad (5)$$

$$M_q = q \cdot l \left(\frac{l}{2} + S \right), \quad (6)$$

$$M_\epsilon = \sigma_{0,2} \frac{S^2}{4}. \quad (7)$$

С учетом уравнения (4) получим:

$$2 \cdot \sigma_{0,2} S^2 - ql(0,5 \cdot l + S) = \sigma_{0,2} \frac{S^2}{4}. \quad (8)$$

Примем $l \geq S$ в k раз, т.е. $l = k \cdot S$, тогда получим:

$$2 \cdot \sigma_{0,2} - q \cdot 0,5 \cdot k^2 = 0,25 \cdot \sigma_{0,2}. \quad (9)$$

Отсюда:

$$q = \frac{7}{4} \frac{\sigma_{0,2}}{k^2}. \quad (10)$$

Пример: $k = 30$; $q = 0,002 \text{ кгс} / \text{мм}^2$; длина $l = 3 \text{ мм}$ при $S = 0,1 \text{ мм}$. Такое давление можно создать, обмотав конусную заготовку тонким скотчем, обладающим достаточной величиной δ_p .

Список литературы

1. Попов И.П. Направленное изменение толщины листовой заготовки в процессах пластического деформирования [Текст]: учеб. пособие / И.П. Попов. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2006. – 74 с.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке [Текст] / В.П. Романовский. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
3. Попов И.П., Демьяненко, Е.Г. Способы деформирования, основанные на процессах формовки, отбортовки и вытяжки тонкостенных осесимметричных деталей [Текст]: учеб. пособие / И.П. Попов, Е.Г. Демьяненко. – Самара: СГАУ, 2011. – 112 с.

УДК 621.981

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СРЕДСТВАМИ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА: ОМД И МЕХАНООБРАБОТКА

Илюшкин М.В.*к.т.н., зам.ген.дир по науке, АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск*

Моделирование процессов давно используется инженерами для предсказания поведения конструкции или процесса на стадии его проектирования. Моделирование технологических процессов в сфере обработки материалов позволяет получить данные необходимые для создания высокоэффективных и экономичных технологических процессов.

Задачи которые стоят перед инженерами при проектировании процессов ОМД и механообработки это:

- определение напряженно деформированного состояния;
- определение энергосиловых параметров процесса;
- определение формы готовой детали (отклонение от чертежа, наличие пружинения и т.п.);
- зоны возникновения дефектов (при наличии);
- определение формы и размеров отхода.

Применение моделирования процессов позволяет значительно сократить или вовсе убрать количество реальных экспериментов, т.е. на стадии проектирования можно увидеть, что происходит с деталью в процессе обработки. Кроме того, моделирование позволяет заглянуть внутрь детали, например, определить НДС в любой точке детали и времени обработки, что невозможно или крайне сложно в экспериментальных исследованиях.

Моделирование позволяет провести варьирование исходных параметров с целью поиска оптимальных или рациональных параметров процесса (схем деформирования для ОМД или режимов обработки для механообработки).

Для получения адекватных данных в процессе моделирования требуется соблюдение следующих правил:

- применение адекватных моделей материала, заготовки и инструмента (упругих, пластических, хрупких и т.д.);
- применение адекватных параметров материала (точно соответствующих реальным материалам);
- применение адекватных параметров процесса (нагрузок, ограничений, взаимодействий и т.п.).

Для получения адекватных параметров материала требуется проведение механических испытаний (к примеру, испытание на одноосное растяжение и кручение). После которых мы получаем требуемые диаграммы деформирования. Осуществляют аналогичные испытания и в программах

инженерного анализа (рис. 1). После чего, сравнивают результаты реальных испытаний материалов с результатами моделирования. Необходимым условием для адекватного моделирования является наличие совпадения этих результатов.

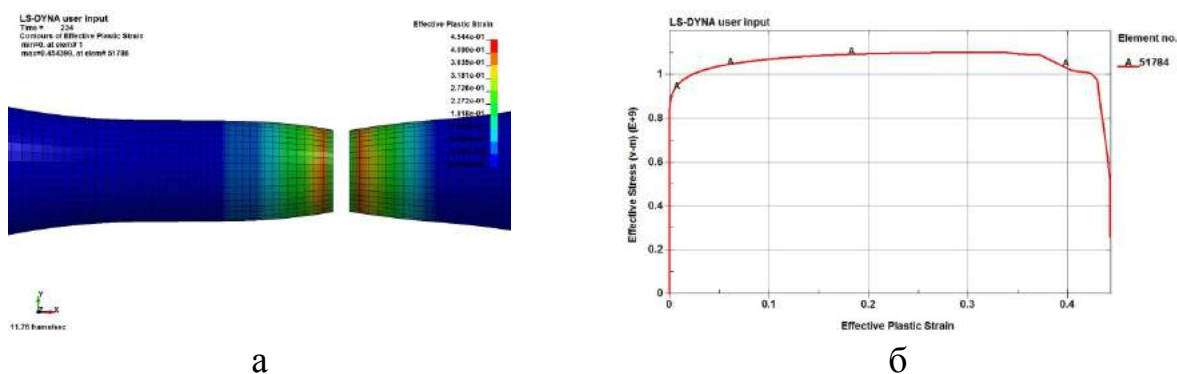


Рис. 1. Пример моделирования механического испытания на одноосное растяжение:
а – общий вид образца после разрыва, б – график деформирования

Сложность возникает на участках близких к разрушению, на участках возникновения шейки, связанных тем, что зона разрушения при моделировании связана с размером конечно-элементной сетки. Также сложность возникает при моделировании материалов отличных от металлов - это резина, пена, композиты и т.п. А также в случае нагружения по сложным схемам воздействия, где данные результатов испытания полученных при одноосном растяжении брать не корректно. В таком случае, рекомендуется проводить дополнительное моделирование, связанное с подбором и уточнением параметров.

К примеру, влияние адгезии при моделировании деформирования материала с лакокрасочным покрытием или клеевого слоя при моделировании процессов сверления композитов. В этом случае существующая модель материала может не в полной мере отражать реальные модели (стандартная модель, к примеру, не учитывает физику распространения адгезии на прилегающие слои).

Таким образом, дополнительное исследование (моделирование и практическая проверка) требуется, к примеру, при исследовании материала с покрытием или сверления композита и сравнение результатов моделирования и практики. Соответственно результаты этих исследований должны совпадать между собой. При этом, схема воздействия при дополнительном моделировании должна быть близка к схеме воздействия в реальном процессе.

Один из примеров дополнительного исследования является пробивание шариком материала с покрытием или композиционной пластины (рис. 2) и сравнение этих результатов.

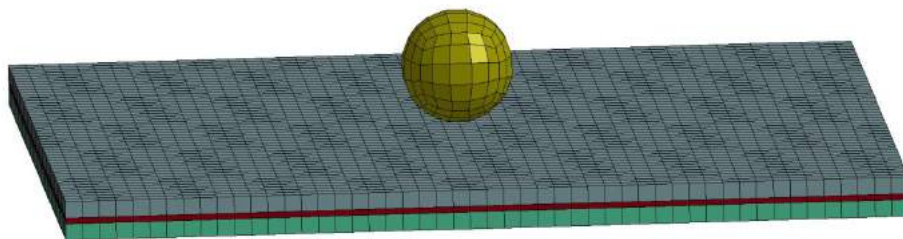


Рис. 2. Пример дополнительного моделирования пробивание шариком материала с покрытием или композиционной пластины

Если результаты отличаются, то необходим подбор параметров моделирования до тех пор, пока результаты не будут адекватны между собой. Только после этого можно моделировать основной процесс.

Моделирование процессов ОМД широко используется на АО «Ульяновский НИАТ», а именно моделирование процессов формообразования и резки гнутых профилей.

Один из примеров моделирования представлен на рис. 3, где моделируется процесс резки круглой трубы в отрубном штампе. Целью моделирования был поиск рациональной формы ножа, обеспечивающей минимальное усилие резки [1].

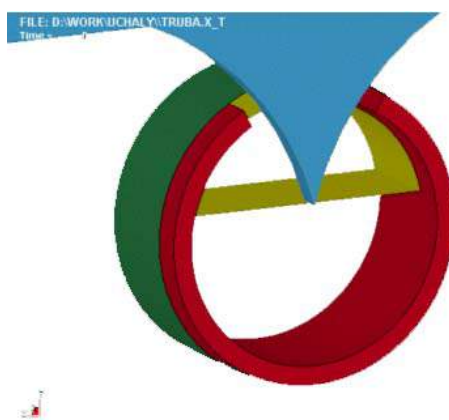


Рис. 3. Моделирование процесса резки круглой трубы в отрубном штампе

Другой пример моделирования представлен на рис. 4, где исследовался процесс формообразования гнутого профиля швеллерообразного типа. Целью моделирования, было в сравнении нескольких схем формообразования и выбор схемы обеспечивающей минимальную аксиальную деформацию по краям полков, превышение которой вызывает неустранимый дефект кромковой волнистости [2].



Рис. 4. Моделирование процесса формообразования гнутого профиля швеллерообразного типа

Еще один пример моделирования процесса формообразования гнутого профиля корытообразного типа из оцинкованной стали представлен на рис. 5, где целью было установить величины контактных давлений по уголкавым зонам профиля. Превышение предельной величины контактных давлений вызывает сдир покрытия и уменьшение коррозионостойкости таких изделий. В данном моделировании также было рассмотрено несколько технологических схем с различными схемами формообразования радиусов [3].



Рис. 5. Моделирование процесса формообразования гнутого профиля корытообразного типа

Моделирование процессов формообразования несимметричных гнутых профилей позволяет установить величину скрутки гнутого профиля и скорректировать до изготовления реальной оснастки. Кроме этого, было установлено, появление дефекта кромковой волнистости по одной из полок несимметричного профиля, что также было подтверждено практическими исследованиями (рис. 6). Обнаружение этого дефекта позволило еще на стадии проектирования принять меры к его устранению (в данном случае было введено дополнительное межклетьево устройство) [4].

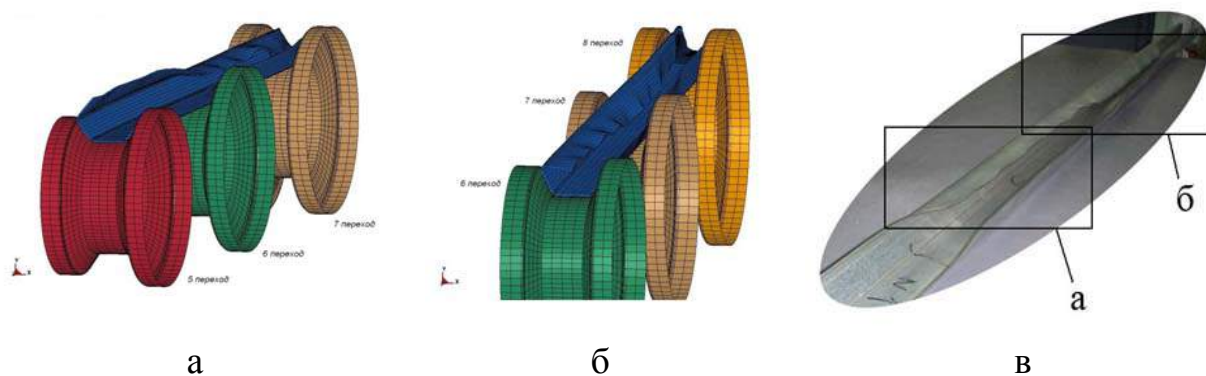


Рис. 6. Дефекты профиля несимметричного типа после моделирования (а, б) и на практике (в)

Результаты моделирования приведенных схем и анализ с практическими результатами позволил говорить, что применяемое в АО «Ульяновский НИАТ» программа динамического анализа LS-DYNA хорошо подходит для исследования схем формообразования гнутых профилей и может быть применена для исследования ответственных процессов, например для авиационной промышленности.

Был исследован процесс формообразования гнутых профилей методом стесненного изгиба, применяемых для изготовления профилей для фюзеляжа самолета (рис. 7), где было изучено НДС в зоне сгиба и предварительно оценены величины утолщения от технологических параметров процесса.

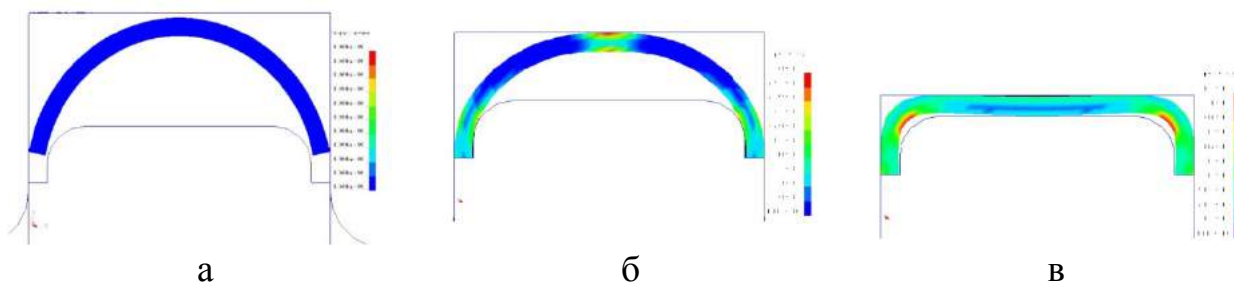


Рис. 7. Этапы формования части профиля Z-образного типа методом стесненного изгиба

Для адекватного моделирования процесса, требуется ввод правильных параметров моделей материала, для этого были проведены серии механических испытаний для определения этих данных (рис. 8).

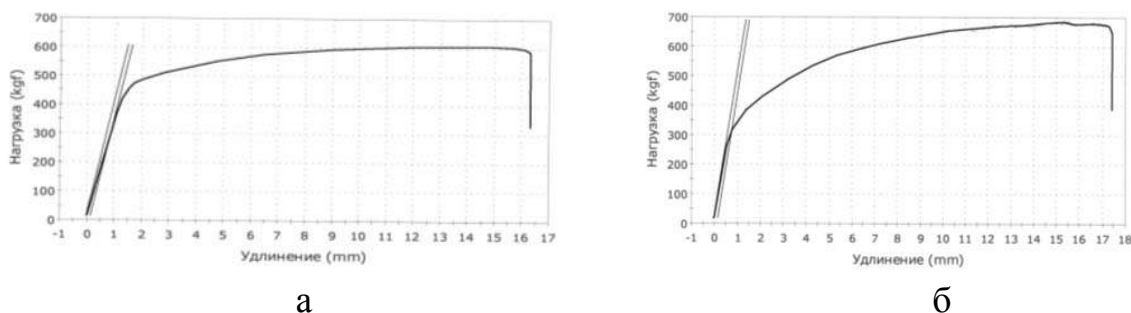


Рис. 8. Диаграммы после механических испытания на растяжение для металлов:
а – B95AM, б – B1469

Результаты механических испытаний использовались для моделирования процесса получения профилей стрингер и шпангоут для фюзеляжа самолета МС-21 (рис. 9).

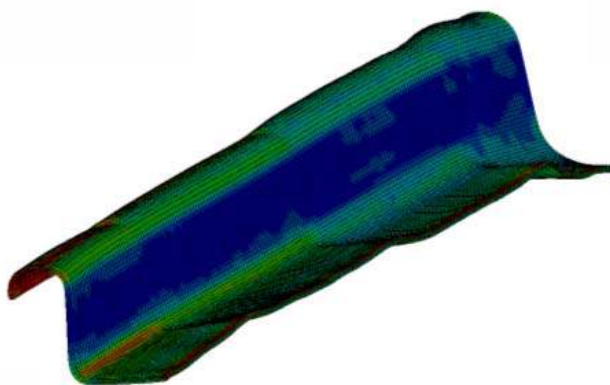


Рис. 9. Моделирование процесса изготовления профиля стрингер

В программе инженерного анализа LS-DYNA было проведено моделирование процесса изготовления профиля шпангоут с различной продольной кривизной. Анализ этих данных позволил установить НДС по сечению профиля, зависимость от величины продольного радиуса и установить критические значения кривизны, при которой возникает дефект кромкой волнистости.



Рис. 10. Моделирование процесса изготовления профиля шпангоут с продольной кривизной

Последнее время все чаще программы инженерного анализа используются и в процессах механообработки.

Программа динамического анализа LS-DYNA позволяет моделировать процессы фрезерования, точения, сверления, шлифования (рис. 11).

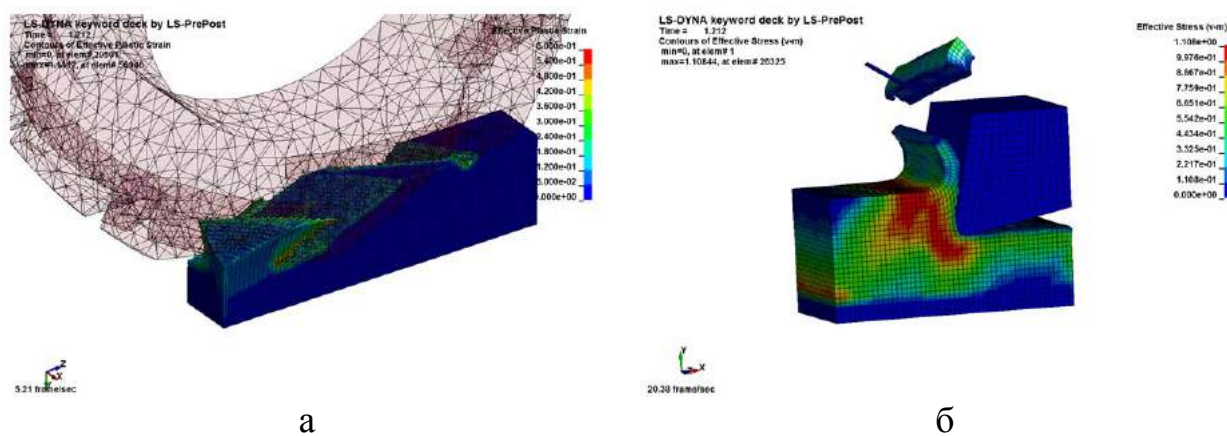
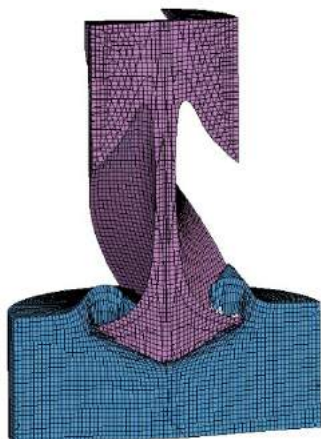


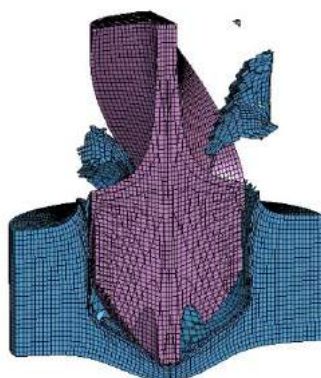
Рис. 11. Примеры моделирования процесса механообработки в программе LS-DYNA:
а – фрезерование, б – точение

На кафедре ТЗШП при АО «Ульяновский НИАТ» было проведено тестовое моделирование процессов сверления металлических (рис. 12) и композиционных материалов (рис. 13).

i-PrePost



i-PrePost



i-PrePost



Рис. 12. Этапы моделирования процесса сверления сплава ВТ-6

S-PrePost



S-PrePost



S-PrePost



Рис. 13. Этапы моделирования процесса сверления композита M21/34%UD194/IMA

Программа позволяет оценить как величины энергосиловых параметров процесса, так и показать, что будет происходить с материалом при реальном процессе сверления. Все это позволяет использовать программы инженерного анализа для подбора режима сверления (подача, величина оборотов) при которых не будет происходить, к примеру,

деламинация слоев композита и осуществляться качественное изготовление отверстий.

Выводы

Применение средств инженерного анализа, а именно программы LS-DYNA, позволяет с большой точностью моделировать существующие процессы ОМД и механообработки, что позволяет сразу увидеть процесс, как бы он происходил в реальных условиях. Моделирование позволяет получить все необходимые данные по НДС и энергосиловым характеристикам процесса.

При наличии дефектов моделирование покажет как это было бы в реальном эксперименте.

Для получения адекватных данных необходимо построение модели соответствующей реальной со всеми физическими параметрами процесса, соответствии модели материала, нагружению, тепловым свойствам и т.д.

Для адекватного моделирования требуется адекватное составление соответствующих методик, включающих в себя:

- испытание материала (практическое и моделирование);
- постановочные исследования (практическое и моделирование);
- моделирование основного процесса.

Только при адекватных результатах первого и второго пункта можно говорить об адекватных результатах основного моделирования.

Список литературы

1. Илюшкин М.В., Баранов А.С., Марковцев В.А. Отработка процесса рубки толстостенного профиля полузамкнутой формы // Формообразование гнутых профилей: теория и практика. (2012 г.): Сборник научных трудов / под науч. ред. д-ра техн. наук, профессора В.И. Филимонова. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – С. 75-79.

2. Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Филимонов В.И. Влияние остаточных деформаций на дефект кромковой волнистости полок // Формообразование гнутых профилей: теория и практика. (2013 г.): Сборник научных трудов / под науч. ред. д-ра техн. наук, профессора В.И. Филимонова. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – С. 35-46.

3. Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Баранов А.С. Выбор способа формовки уголкового профиля корытного типа в роликах на основе анализа действующих контактных давлений // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 12, № 1(2), 2010 – С. 362-365

4. Марковцев В.А., В.И. Филимонов, Илюшкин М.В., Баранов А.С., Волков А.А. Формообразование несимметричных профилей на профилировочных станках // Технология металлов. – 2011. – №3. – С. 8-12.

УДК 621.771

**ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ
ИНТЕНСИВНОГО ПРЕССОВАНИЯ ЗАГОТОВОК
И ДЕТАЛЕЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ
ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ**

Кокорин В.Н.¹, Кокорин А.В.², Зиннатов Б.Р.³, Евстигнеев А.А.⁴

1 – д.т.н., профессор, зав.каф. «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г.Ульяновск

2 – инженер-технолог АО «Утес», г.Ульяновск

3,4 – магистранты 1 года Машиностроительного факультета УлГТУ, г.Ульяновск

Разработана пресс-форма, обеспечивающая повышение эффективности прессования механических увлажненных смесей и качества деталей, в том числе, размерной точности.

Пресс-форма содержит матрицу и пуансон и позволяет существенно повысить размерную точность деталей, имеющих цилиндрическую (либо цилиндрические элементы части общей конструкции детали) форму.

Особенностью является то, что матрица в рабочей части имеет периодическую рельефную с обратным конусом форму; высота отдельного конуса h функционально зависит от угла образующей конуса и регламентированного чертежом 0,5 допуска (Δ) на диаметр детали; матрица выполнена секционной.

На рисунке. 1 (фиг. 1) представлен вид устройства сбоку, на фиг. 2 – вид сверху в характерном сечении.

Устройство содержит секционную матрицу 1, пуансон 2. Матрица в рабочей части имеет периодическую рельефную с обратным конусом форму. Устройство работает следующим образом:

Увлажненный порошок подают в матрицу 1. Прессование осуществляется пуансоном 2 по схеме статического одностороннего осевого нагружения, под действием давления q механическая смесь подвергается уплотнению с реализацией тангенциального перемещения материала и инициацией локализованных сдвиговых деформаций в рабочей части матрицы 1 в отдельных конических элементах рабочей поверхности матрицы, причем ширина a отдельного конуса составляет половину допуска (Δ) на диаметр детали d , т. е.: $h = a \cdot \operatorname{tg} \alpha^{\circ} = \frac{\Delta}{2} * \operatorname{tg} \alpha^{\circ}$.

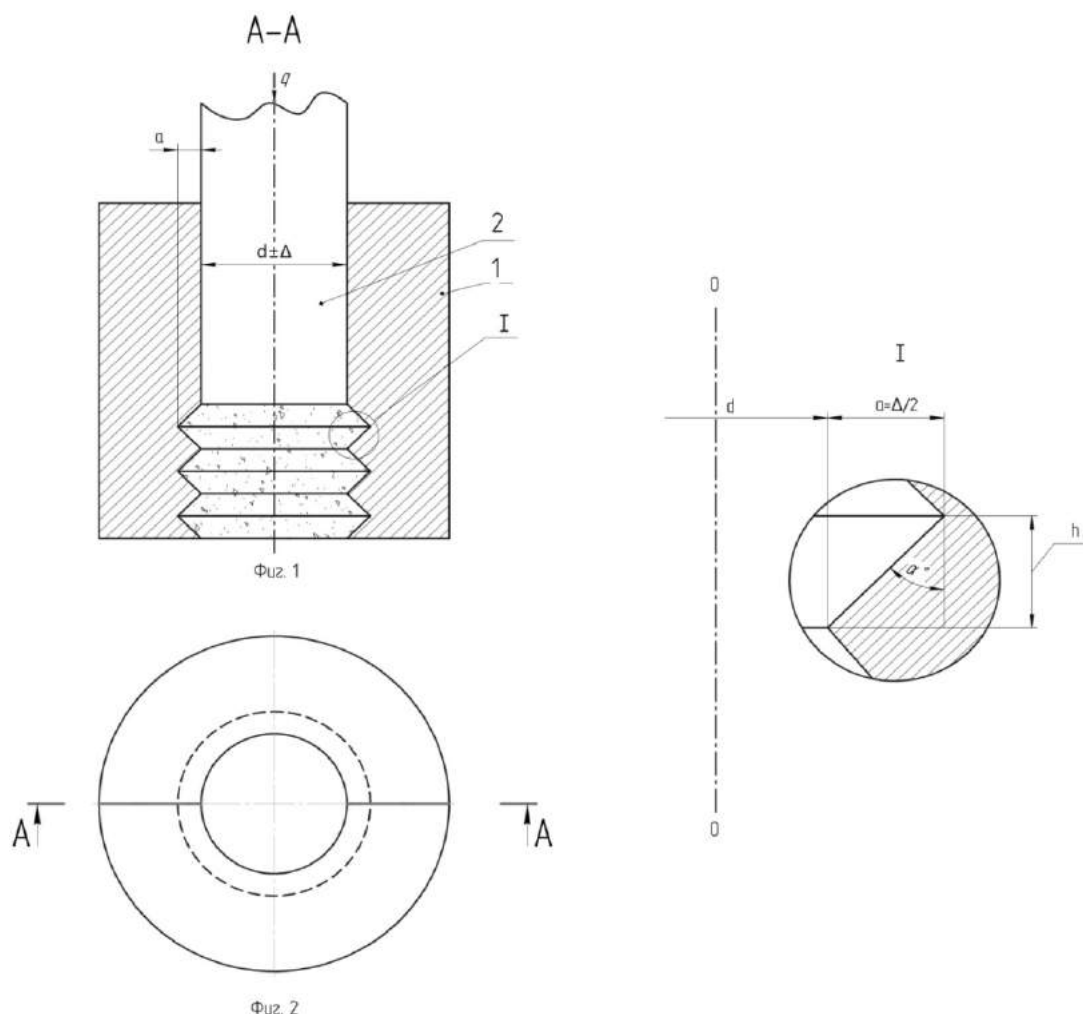


Рис. 1. Пресс-форма для прессования порошковых механических увлажненных смесей при изготовлении высокоплотных цилиндрических изделий: 1 – матрица, 2 – пуансон

Перспективным представляется использовать разработанную в рамках настоящего исследования пресс-форму, конструкция которой позволяет реализовать как осевую, так и тангенциальную составляющую перемещения уплотняемого увлажненного порошка с элементами бокового выдавливания.

Пресс-форма содержит матрицу и пуансон и позволяет получать строго цилиндрическую форму боковой поверхности детали при обеспечении высокой размерной точности.

Особенностью данной пресс-формы является то, что матрица имеет ступенчатую форму, при этом диаметр заходной части соответствует: $d = D_d - 2h \cdot \operatorname{tg} \alpha = D_d - 2\Delta d$, где h – высота детали, D_d – габаритный размер цилиндрической части детали, α – угол находящийся в диапазоне ($10 \dots 30^\circ$), – угол естественного скоса.

На рисунке 2 представлена конструкция ступенчатой цилиндрической пресс-формы

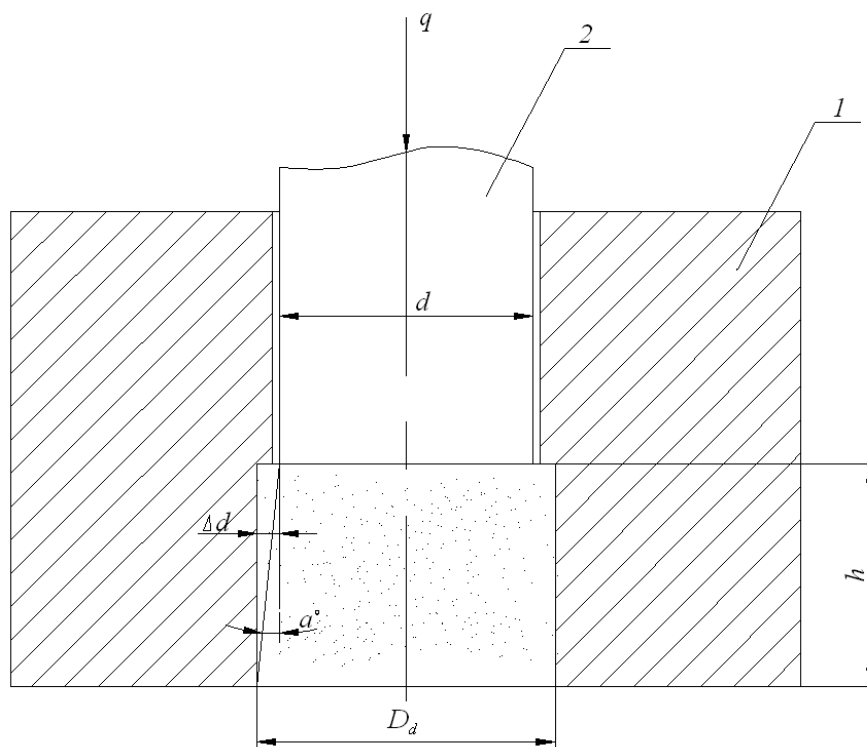


Рис. 2. Пресс-форма цилиндрическая ступенчатая для прессования порошковых увлажненных смесей при изготовлении высокоплотных цилиндрических деталей высокой размерной точности: 1 – матрица; 2 – пуансон

Увлажненный порошок подается в матрицу 1. Прессование осуществляется пуансоном 2 по схеме одностороннего осевого нагружения. При этом, под действием давления q гетерофазная механическая смесь подвергается уплотнению при реализации тангенциального перемещения материала. При этом, создаются условия, позволяющие инициировать и реализовывать механическую схему нагружения, соответствующую боковому выдавливанию.

На рисунке 3 представлено фото пресс-формы.

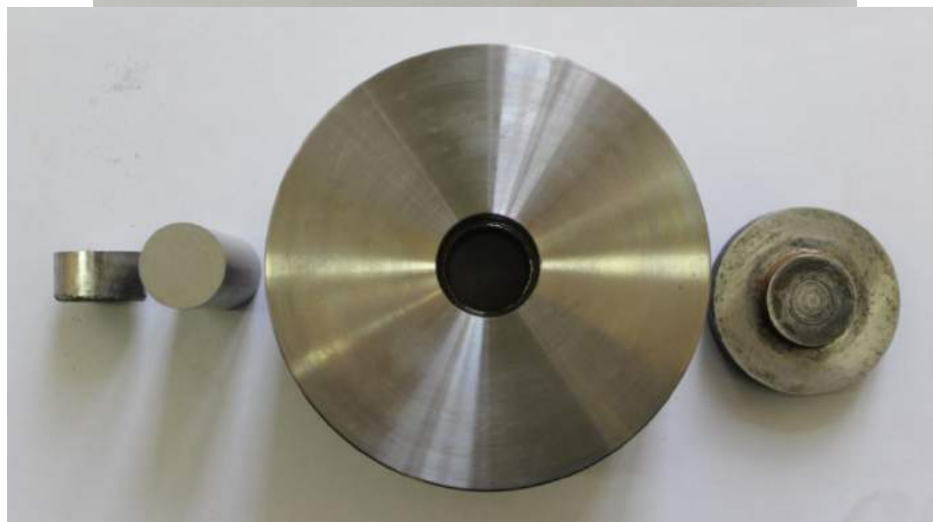


Рис. 3. Пресс-форма ступенчатая цилиндрическая

На рисунке 4 представлена схема поэтапной динамики прессования гетерофазной механической смеси на характерных стадиях уплотнения и формообразования.



Рис. 4. Характерные этапы формообразования:

1 – первая стадия уплотнения; 2 – вторая стадия уплотнения;
3 – третья стадия уплотнения; 4- четвертая стадия уплотнения

Образцы на четвертой стадии уплотнения имеют строго цилиндрическую поверхность, при этом плотность приближается к плотности теоретического уровня ($Q \leq 1\%$).

Список литературы

1. Кокорин В.Н. Научные основы технологии прессования из полидисперсных металлических порошков с плотноупакованной структурой [Текст] : монография / В. Н. Кокорин, В. И. Филимонов, Е. М. Булыжев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Ульяновский государственный технический университет. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 152 с.

2. Кокорин В.Н. Исследование бокового давления при прессовании увлажненных порошков / В.Н. Кокорин, Григорьев А.А., Сизов Н.А., Митюшкин А.А. // 45 НТК «Вузовская наука в современных условиях». – Ульяновск: УлГТУ. 2011. – С. 57- 58.

3. Кокорин В.Н. Оптимизация параметров прессования увлажненных порошков / В.Н. Кокорин, Дьяков И.Ф., Белобородов С.Г // 45-65. НТК «Вузовская наука в современных условиях». – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – С. 61-62.

УДК 621.771

ПРЕСС-ФОРМА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ВЫСОКОПЛОТНЫХ ИЗДЕЛИЙ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ УСЛОВИЙ БОКОВОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ

Кокорин В.Н.¹, Кокорин А.В.², Зиннатов Б.Р.³, Евстигнеев А.А.⁴

1 – д.т.н., профессор, зав.каф. «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г.Ульяновск

2 – инженер-технолог АО «Утес», г.Ульяновск

3,4 – магистранты 1 года Машиностроительного факультета УлГТУ, г.Ульяновск

Важной проблемой, стоящей перед современным промышленным производством, является повышение эффективности, конкурентоспособности технологий и продукции, обеспечение их импортозамещения в процессах, связанных с получением высокоплотных порошковых деталей и заготовок, обладающих повышенным комплексом механических характеристик.

Современной тенденцией развития процессов обработки давлением при получении изделий, приближающихся по уровню физико-механических свойств к компактным деталям из литья и проката, является снижение остаточной пористостью до уровня $\leq 1\%$ и образование благоприятной регламентированной структуры металла, что является важной научно-технической проблемой в связи с традиционно высокой потребностью промышленности в деталях конструкционного назначения. Наибольшими преимуществами обладает схема нагружения, реализующая комплексное всестороннее сжатие и сдвиговые деформации, при которых можно ожидать как снижение величины деформирующих сил, так и повышение плотности деталей и заготовок. *Целью проводимых исследований являлась разработка новых технологических решений при проектировании операций изготовления заготовок и деталей из металлических порошков, обеспечивающих повышение качества структуры материалов на основе получения плотностей, приближенных к теоретической, путём интенсивного уплотнения гетерофазных механических смесей на основе железа при реализации механических схем нагружения, инициирующих комплексное осевое и тангенциальное перемещение уплотняемого материала при обеспечении условий возникновения локализованного сдвига.*

Перспективным представляется использовать разработанную в рамках настоящего исследования пресс-форму, конструкция которой позволяет реализовать как осевую, так и тангенциальную составляющую перемещения уплотняемого увлажненного порошка с элементами бокового выдавливания.

Пресс-форма содержит матрицу и пуансон и позволяет получать строго цилиндрическую форму боковой поверхности детали при обеспечении высокой размерной точности.

Особенностью данной пресс-формы является то, что матрица имеет ступенчатую форму, при этом диаметр заходной части соответствует: $d = D_d - 2h \cdot \operatorname{tg} \alpha = D_d - 2\Delta d$, где h – высота детали, D_d – габаритный

размер цилиндрической части детали, α – угол находящийся в диапазоне $(10...30^\circ)$, - угол естественного скоса.

На рисунке 1 представлена конструкция ступенчатой цилиндрической пресс-формы

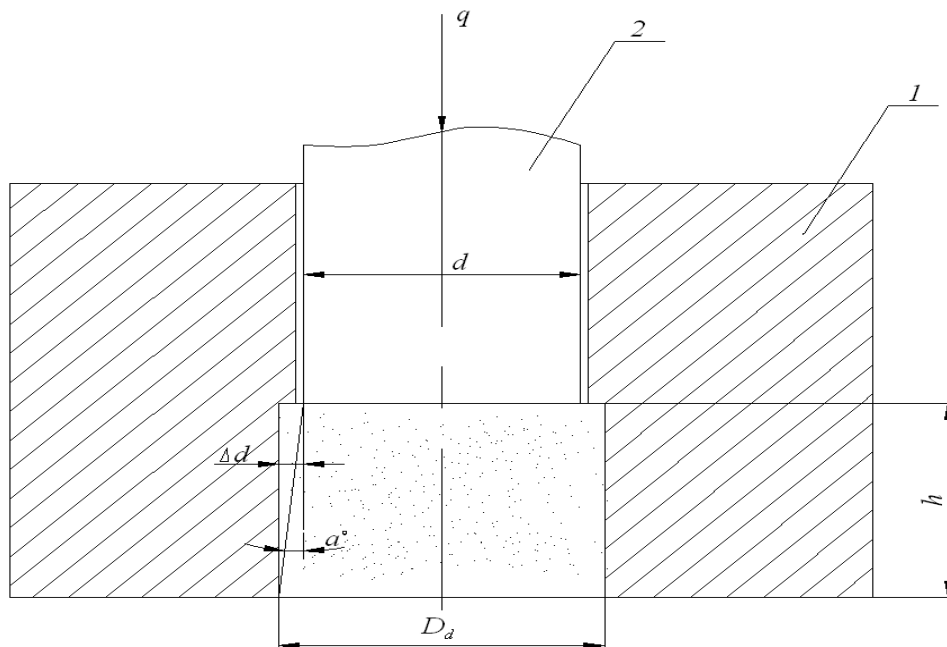


Рис. 1. Пресс-форма цилиндрическая ступенчатая для прессования порошковых увлажненных смесей при изготовлении высокоплотных цилиндрических деталей высокой размерной точности: 1 – матрица; 2 – пуансон

Увлажненный порошок подается в матрицу 1. Прессование осуществляется пуансоном 2 по схеме одностороннего осевого нагружения. При этом, под действием давления q гетерофазная механическая смесь подвергается уплотнению при реализации тангенциального перемещения материала. При этом, создаются условия, позволяющие инициировать и реализовывать механическую схему нагружения, соответствующую боковому выдавливанию.

На рисунке 2 представлено фото пресс-формы.

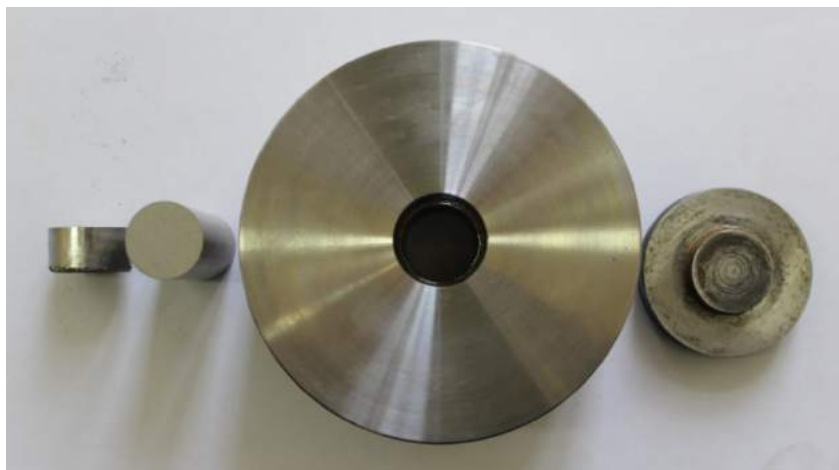


Рис. 2. Пресс-форма ступенчатая цилиндрическая.

На рисунке 3 представлена схема поэтапной динамики прессования гетерофазной механической смеси на характерных стадиях уплотнения и формообразования.



Рис. 3. Характерные этапы формообразования: 1 – первая стадия уплотнения; 2 – вторая стадия уплотнения; 3 – третья стадия уплотнения; 4- четвертая стадия уплотнения

Образцы на четвертой стадии уплотнения имеют строго цилиндрическую поверхность, при этом плотность приближается к плотности теоретического уровня ($Q \leq 1\%$).

Технология и инструментальная оснастка интенсивного прессования железосодержащих порошков при изготовлении высокоплотных тяжело нагруженных деталей высокой размерной точности получили положительную оценку.

В рамках действующего производства ООО «ДЗПМ» проведен сопоставительный анализ технологий прессования детали конструкционного назначения номенклатуры ОАО «ДАЗ» №2108-1006130-10 «Кольцо» (рис. 4).

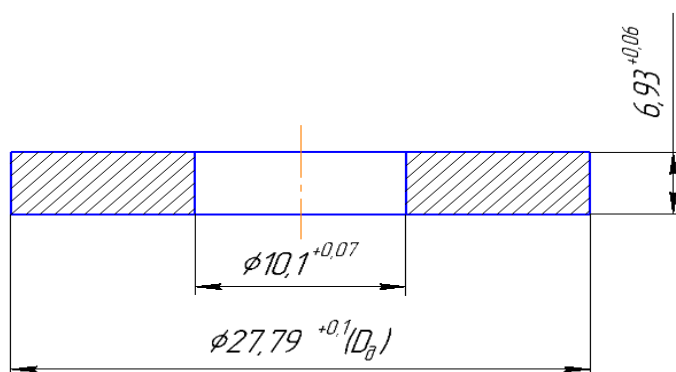


Рис. 4. Деталь №2108-1006130-10 «Кольцо» номенклатуры ОАО «ДАЗ»

При анализе регламента уплотнения были учтены результаты совместных опытно-промышленных испытаний механических свойств, проведенных в лаборатории порошковой металлургии ООО «ДЗПМ». Испытания образцов проводились при использовании трёх технологических

схем: 1 – одностороннее прессование сухих порошков; 2 – одностороннее прессование увлажненных гетерофазных механических смесей в гладкой матрице ($d_{\text{п}}=D-2z$); 3 – одностороннее прессование увлажненных гетерофазных механических смесей при реализации условий, реализующих возникновение локализованных сдвиговых деформаций с использованием механической схемы нагружения, моделирующей боковое выдавливание ($d_{\text{п}} = D_{\text{д}} - 2h \cdot \operatorname{tg} \alpha = D_{\text{д}} - 2\Delta d$).

Использован следующий состав: смесь №10 (C=0.40%, Cu-2.5%, Fe-остальное). Образцы №1 были изготовлены из сухой механической смеси с добавлением 1% масс. доли стеарата цинка; образцы №2 и №3 – были отпрессованы из увлажненной механической смеси с добавлением 15% масс. доли H_2O . Образцы №№1,2,3 – спекались в печи конвейерной, продолжительность спекания – 1.5 часа, температура рабочей зоны - 1100°C. Состав атмосферы печи спекания – эндогаз.

Данные по испытаниям уровня технологических и механических свойств представленных образцов приведены на рисунках (5,6,7).

Плотность образцов

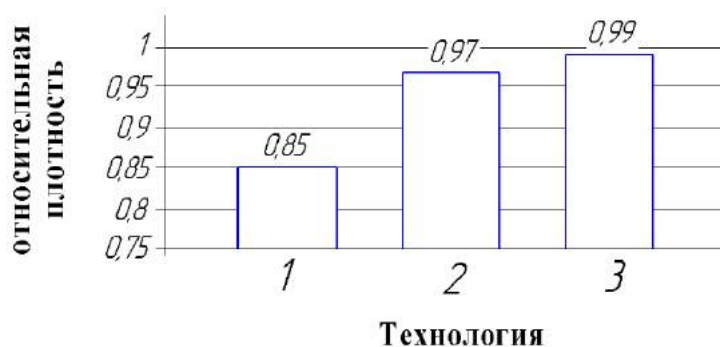


Рис. 5. Соотносительный анализ плотностей

Твердость образцов

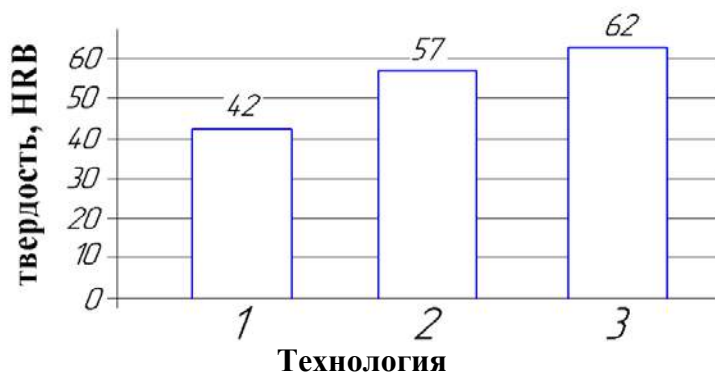


Рис. 6.. Соотносительный анализ твердости

Разрушающая нагрузка

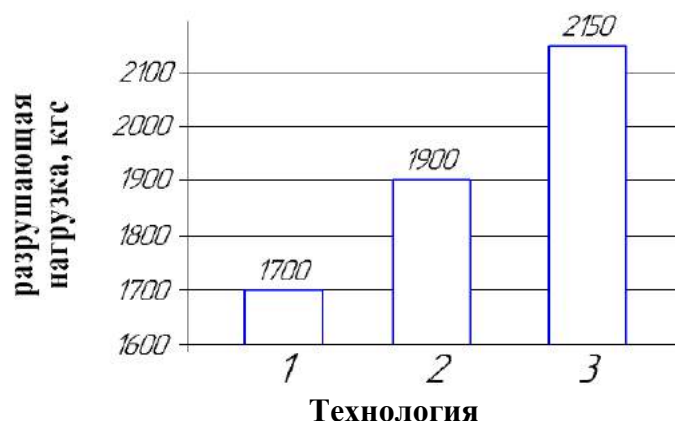


Рис. 7. Соотносительный анализ разрушающей нагрузки

Анализ результатов опытно-промышленных испытаний проведенных в условиях действующего производства ООО «Димитровградский завод порошковой металлургии» позволяет сделать вывод, что применение нового способа интенсивного прессования увлажненных порошков с реализацией условий нагружения, инициирующих локализованный сдвиг, существенно увеличивает механические эксплуатационные свойства деталей конструкционного назначения и рекомендуется к использованию в действующем производстве.

Список литературы

1. Кокорин В.Н. Научные основы технологии прессования из полидисперсных металлических порошков с плотноупакованной структурой [Текст] : монография / В. Н. Кокорин, В. И. Филимонов, Е. М. Булыжев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Ульяновский государственный технический университет. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 152 с.

2. Кокорин В.Н. Исследование бокового давления при прессовании увлажненных порошков / В.Н. Кокорин, Григорьев А.А., Сизов Н.А., Митюшкин А.А. // 45 НТК «Вузовская наука в современных условиях». – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – С. 57- 58.

3. Кокорин В.Н. Оптимизация параметров прессования увлажненных порошков / В.Н. Кокорин, Дьяков И.Ф., Белобородов С.Г. // 45-65. НТК «Вузовская наука в современных условиях». – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – С. 61-62.

УДК 621.981

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЁСТКОСТИ В ДОННОЙ ЧАСТИ ПРОФИЛЯ НА ТЕХНОЛОГИЮ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Кокорина И.В.¹, Филимонов В.И.²

1 – аспирант каф. «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

2 – д.т.н., профессор каф. «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

Широкое применение гнутых профилей в последние годы вызвало необходимость использования метода интенсивного деформирования (МИД) для их мелкосерийного производства [1]. При этом конфигурации профилей усложняются за счёт введения различных элементов жёсткости, которые могут быть расположены в донной части или на подгибаемых полках.

Типы элементов жёсткости можно классифицировать как это показано в нижеприведенной таблице.

Тип элемента	Эскиз	Примечание
1. Подсечка		С криволинейным сбегом, со сбегом с прямолинейным участком
2. Отбортовка		Прямая, под углом, с поднутрением
3. Элемент двойной толщины (ЭДТ)		Вовнутрь, вовне; разновидности: прямой, каплеобразный, с зазором или без зазора
4. Элемент тройной толщины		Вовнутрь, вовне; разновидности с концевым участком вовнутрь на полную или неполную длину
5. Дуговой элемент		Вовнутрь, вовне; с положительной или отрицательной кривизной по длине
6. Кольцевой элемент		Вовнутрь, вовне; с прямым или изогнутым сопряжением
7. Петельный элемент		Вовнутрь, вовне; прямой, сваленный
8. Продольный рифт		Единичный, множественный (одного или разного размера и типа); вовне, вовнутрь, в их сочетании; разделение по виду (прямоугольные, трапециевидные, треугольные, полукруглые, комбинированные)

Тип элемента	Эскиз	Примечание
9. Поперечный рифт		Вовнутрь, вовне; прямоугольные, трапециевидные, треугольные, полукруглые; разновидность: пуклёвки указанных форм без выхода на кромку
10. Рифлёная кромка		Зубчатые рифли, мелкий гофр
11. Изогнутый элемент двойной толщины		Вовне, вовнутрь Пример – профиль обрамления двери [1]
12. Комбинированный элемент жёсткости		Сочетания: отбортовка с рифтом и дугowym элементом (верхний); подсечка с отбортовкой (средний); отбортовка с ЭДТ и продольным рифтом (нижний) и т.д.

Наличие элементов жёсткости, их размерные параметры и их расположение существенно влияют на схему формообразования профиля. Данный вопрос отдельно практически не рассматривался в работах по профилированию, хотя влияние элементов жёсткости заданных типоразмеров на технологию изучалось при разработке технологии производства конкретных профилей. Если краевые элементы жёсткости были рассмотрены в работах [1, 2], то элементам жёсткости, расположенным в донной части профиля, до настоящего времени не уделялось достаточного внимания.

На примере элементов жёсткости, расположенных в донной части профиля, рассмотрим их влияние на схемы формообразования. Во-первых, выполним первичную классификацию рифтов (рис. 1) на основе п. 8 вышеприведенной таблицы.

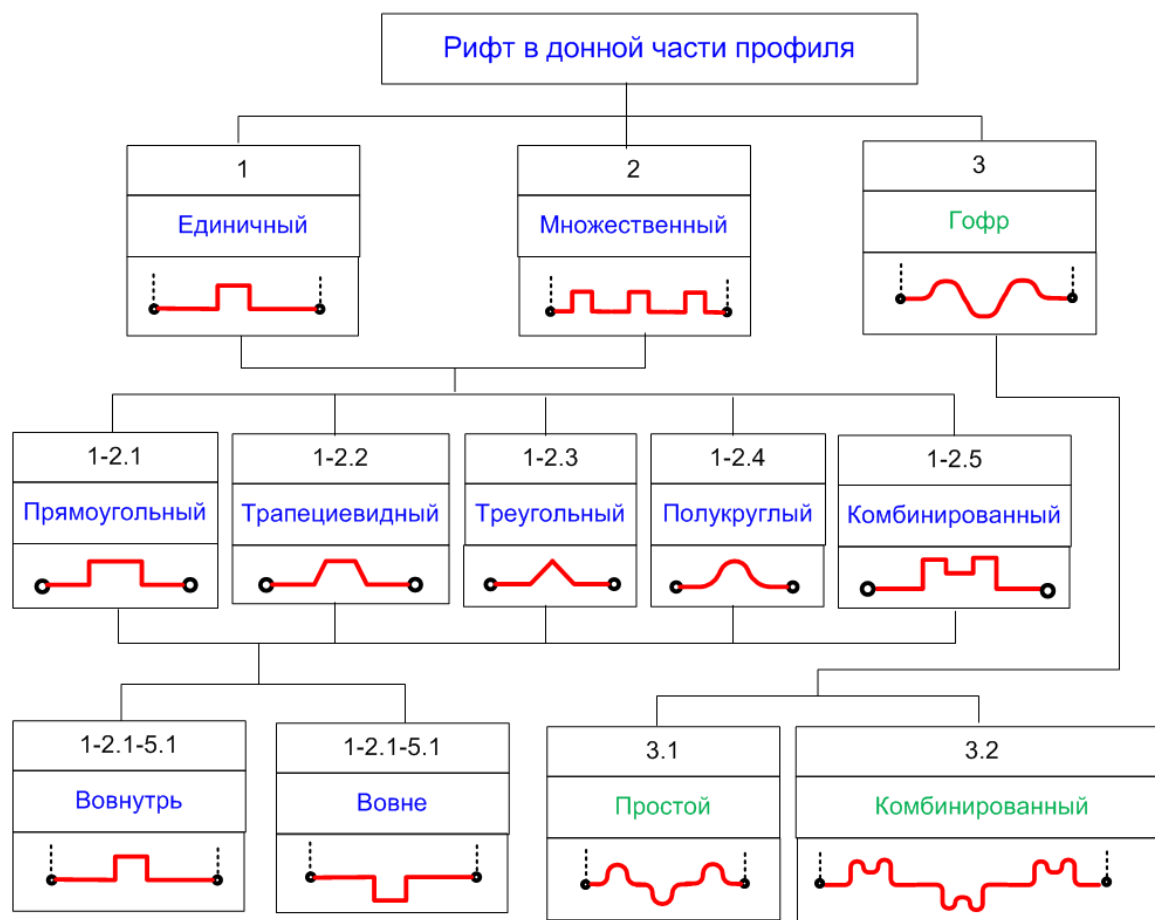


Рис. 1. Классификатор рифтов в донной части профиля

Рифты в донной части можно подразделить на единичные, множественные и гофры. Хотя гофры можно было бы отнести к множественным рифтам, однако горизонтальная ось симметрии первых обычно лежит в плоскости дна, а для множественных рифтов это не характерно. Кроме того, введенная позиция «гофр» закрывает случай периодического расположения множественных рифтов «вовнутрь» и «вовне», что исключает необходимость рассмотрения смешанного расположения рифтов по отношению к плоскости дна профиля.

В классификаторе рис. 1 представлены только наиболее распространённые виды рифтов, хотя на практике встречаются элементы жёсткости донной части профиля в виде элемента двойной толщины (например, направляющая шкафов-купе, выполненная в виде Ш-образного профиля с внутренним элементом двойной толщины). Однако ЭДТ является самостоятельным элементом жёсткости, не относящимся к рифтам. Отметим, что размерные параметры рифтов не включены в рассматриваемый классификатор, хотя влияние этих размеров на схему формообразования весьма существенно.

Схемы формообразования единичного и множественного рифта в донной части узкого профиля различаются лишь в зависимости от степени

боковой утяжки материала, обусловленной размерами рифтов, которые могут формироваться с первых переходов. Однако формовка в первых переходах одиночного рифта в дне профиля с широким дном приводит, как правило, к неисправимым дефектам: формовка рифта большого размера ведёт к «развалу» профиля (выпучиванию участков дна и деформации и/или излому подгибаемых полок), а формовка рифта небольшого размера вызывает его излом в донной части (при выпучивании, связанном с влиянием подгибаемых полок). В целом, наличие рифтов в донной части профиля диктует необходимость применения более «мягких» режимов подгибки полок, чем при производстве профиля с теми же размерами основных элементов и гладким дном.

Тип рифта также оказывает влияние на режим формовки. Если полукруглые (особенно множественные) рифты можно формовать перетяжкой материала, то рифты с малыми радиусами изгиба часто приходится формовать последовательно, одновременно с подгибкой полок. Причём последовательность формовки зависит от размеров, топологии рифтов и ширины дна. В случае широкого дна рекомендуется равномерная формовка рифтов [3] или первоначально крайних, во избежание «развала» профиля. Способы формовки также могут быть различными: с боковой утяжкой или с предварительным набором материала и последующей осадкой. При малых межклетьевых расстояниях профилировочного станка наличие рифтов в донной части профиля ведёт к увеличению числа переходов.

Расположение рифтов на дне профиля «вовне» или «вовнутрь» с точки зрения формовки представляется почти эквивалентным, однако при расположении «вовне» требуется увеличивать размеры формирующих роликов на высоту наибольшего по высоте рифта. Формовка в роликах большего диаметра более благоприятна, однако повышается стоимость технологического оснащения, а в ряде случаев ограничением может служить максимальное межосевое расстояние профилировочного станка.

Таким образом, тип рифта и его параметры могут существенно влиять на технологичность профиля в сторону её снижения.

Список литературы

1. Филимонов А.В., Филимонов С.В. Изготовление полужакрытых гнутых профилей в роликах методом интенсивного деформирования / Под ред. проф. В.И. Филимонова. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 206 с.
2. Филимонов В.И., Филимонов С.В., Карпов С.А., Кокорина И.В. Технологичность конструкции и производства гнутых профилей // Справочник. Инженерный журнал, 2015, № 8. – С. 11 – 17.
3. Филимонов С.В., Лапин В.В., Филимонов В.И., Айнуллов А.И. Формообразование в роликах широких профилей с гофрированным дном и периферийными фальцами // Заготовительные производства в машиностроении, 2013, № 6. – С. 20 – 25.

УДК 621.981

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УПРОЧНЕНИЯ ЗАГОТОВКИ НА КАЧЕСТВО ГНУТОГО ПРОФИЛЯ

Кокорина И.В.¹, Филимонов В.И.²

1 – аспирант каф. «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

2 – д.т.н., профессор каф. «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

Широкое применение гнутых профилей в последние годы вызвало необходимость использования технологий интенсивного формообразования, в частности, метода интенсивного деформирования (МИД), применяющего «жёсткие» режимы формообразования, приводящие к кромковой волнистости при подгибке элементов, линиям Чернова-Людерса на подгибаемых полках, неоднородности характеристик прочности по сечению профиля [1].

Предварительный обжим или дрессировка в закрытом калибре, обеспечивающие однородность характеристик прочности профиля по сечению с приданием остаточных напряжений подгибаемым полкам, позволяет предотвратить указанные дефекты [2]. Следовательно, возникает задача выравнивания указанных характеристик с учётом зон изгиба и прямолинейных участков. Ввиду неравномерности этих характеристик по зоне изгиба, необходимо усреднять по угловой зоне параметр упрочнения для выбора требуемой степени обжима исходной заготовки.

С этой целью рассмотрим изгиб с линейным упрочнением заготовки [3], получающей радиус кривизны ее внутреннего контура r , а наружного контура – R . Разность этих радиусов даёт толщину исходной заготовки s_0 . Полагаем, что в условиях плоской деформации нейтральный слой деформаций (НСД) ρ_ε следует закону:

$$\rho_\varepsilon = \frac{r}{s_0} \left(1 + \frac{0,625 \cdot s_0}{r + s_0} \right). \quad (1)$$

Используя инженерный метод, будем решать уравнение равновесия совместно с условием пластичности и соответствующими граничными условиями.

Уравнение равновесия:

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta = 0, \quad (2)$$

где σ_ρ , σ_θ – радиальное и окружное напряжение соответственно; ρ – переменная интегрирования.

Условие пластичности:

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \pm(\sigma_T + \lambda|\varepsilon_i|), \quad (3)$$

где σ_T – предел текучести материала заготовки; λ – показатель упрочнения; ε_i – интенсивность деформаций; знаки «+» и «-» относятся к зонам сжатия и растяжения соответственно.

Из условия плоской деформации и несжимаемости материала находим интенсивность деформаций:

$$\varepsilon_i = \beta \varepsilon_\rho = \beta \left(\frac{\rho}{\rho_\varepsilon} - 1 \right), \quad (4)$$

где ε_ρ – продольная и радиальная деформации соответственно; $\beta = 2/\sqrt{3}$, а ρ_ε задаётся формулой (1).

В зоне растяжения окружные напряжения находим из совместного решения (2), (3), (4) и граничного условия на наружном контуре:

$$\sigma_\theta^p = A \left[\ln \left(\frac{\rho}{R} \right) + 1 \right] + B(2\rho - R), \quad (5)$$

где $A = \sigma_T - \beta \cdot \lambda$; $B = \frac{\beta \cdot \lambda}{\rho_\varepsilon}$.

Аналогичные вычисления для зоны сжатия с учётом граничного условия на внутреннем контуре дают значения окружных напряжений:

$$\sigma_\theta^c = D \left[\ln \left(\frac{r}{\rho} \right) - 1 \right] + B(2\rho - r), \quad (6)$$

где $D = \sigma_T + \beta \cdot \lambda$; $B = \frac{\beta \cdot \lambda}{\rho_\varepsilon}$.

Нейтральный слой напряжений (НСН) можно найти «сшиванием» радиальных напряжений в зонах сжатия и растяжения:

$$\sigma_\theta^p - \sigma_\theta^c = 2(\sigma_T + \lambda|\varepsilon_i|),$$

откуда

$$\rho_n = \sqrt{R \cdot r} \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{\beta \lambda}{2\sigma_T}} \exp \left[B \frac{R-r}{2\sigma_T} \right]. \quad (7)$$

Осреднение окружных деформаций вблизи НСН со смещением $\pm 10\%$ характеризует степень упрочнения и средние деформации растяжения заготовки в угловой зоне. Поэтому степень обжима заготовки ξ до начала профилирования можно определить следующим образом:

$$\xi = \left| \frac{s-s_0}{s_0} \right| = \frac{\sigma_\theta^p(\rho_n+0,1) + \sigma_\theta^c(\rho_n-0,1) - 2\sigma_T}{2\lambda} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где s – толщина заготовки после обжима; ρ_n – НСН, определяемый зависимостью (7); $\sigma_\theta^p, \sigma_\theta^c$ – окружные напряжения, определяемые соотношениями (5) и (6) соответственно.

На рис. 1 показана зависимость (8), дающая режимы обжима для стали 08кп. Стрелки показывают процедуру определения степени обжима заготовки. Отсюда видно, что дрессировка выравнивает механические свойства лишь при сравнительно больших

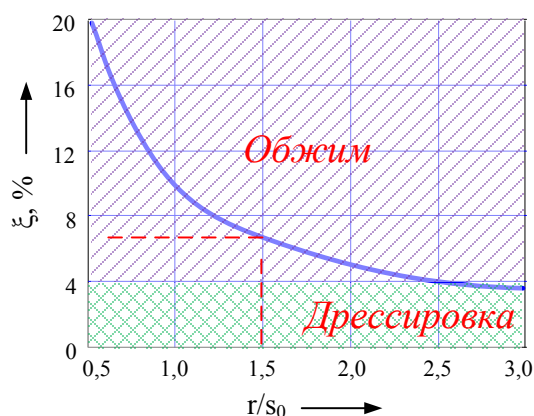


Рис. 1. Выбор режима предварительного обжима заготовки для выравнивания механических свойств профиля

относительных радиусах изгиба, а при малых радиусах нужно использовать обжим.

Для мало пластичных материалов дрессировка незначительно снижает пластичность при деформировании (рис. 2), что позволяет осуществлять гибку со сравнительно малыми радиусами. В ряде случаев для сохранения пластичности металла в угловых зонах можно применять дифференцированный обжим с высвобождением

будущих мест изгиба заготовки. Высвобождения под угловые зоны с радиусом кривизны, расположенном внутри контура профиля, выполняются на нижнем ролике, а высвобождения под угловые зоны с радиусом кривизны, расположенном снаружи контура профиля, – на верхнем. При этом наружный контур будущей зоны изгиба не подвергается деформированию. При малых радиусах изгиба можно выполнять формовку бульбообразного элемента под будущую зону изгиба при дрессировке или обжиге для разгрузки наружного контура и предотвращения его разрушения.

Предотвращение кромковой волнистости широких периферийных элементов достигается выравниванием механических свойств профиля по сечению посредством дифференцированного обжима по ширине будущих периферийных элементов и по ширине будущего дна профиля.

Графические зависимости, аналогичные рис. 2 для рулонной стали 08кп с цинковым или органическим покрытием могут быть легко построены по аналитическим функциям работы [4], описывающим изменение механических характеристик для различных материалов. Однако при обжиге заготовок с покрытием следует учитывать ограничения, указанные в работах [5 – 7].

Таким образом, предварительная дрессировка заготовки или её дифференцированный обжим позволяют уменьшить подверженность заготовки кромковой волнистости, снизить вероятность возникновения

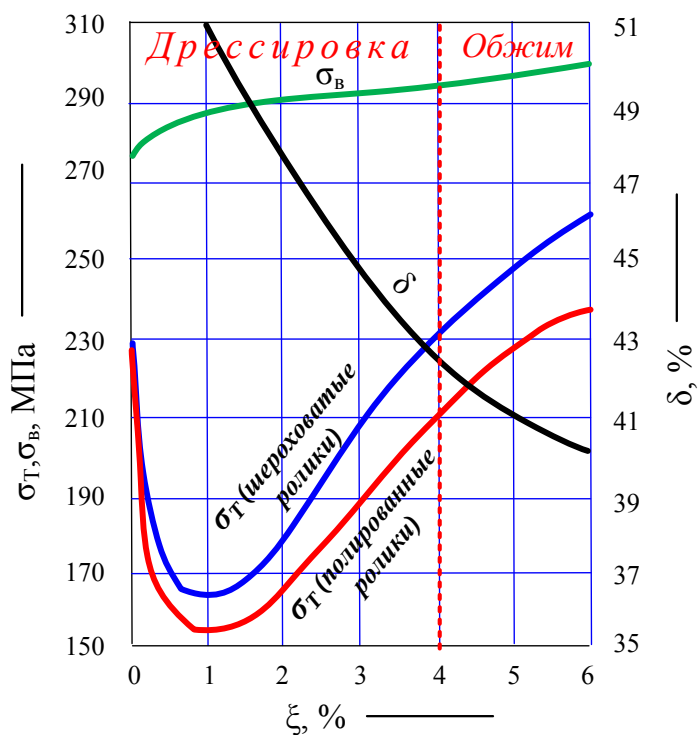


Рис. 2. Изменение механических свойств заготовки из стали 08кп при дрессировке на шероховатых и полированных роликах

линий Чернова-Людерса, а также выровнять механические характеристики профиля по его сечению.

Список литературы

1. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Метод, расчеты и технология интенсивного деформирования в роликах гнутых профилей типовой номенклатуры. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 246 с.
2. Робертс В.Л. Холодная прокатка стали. – М.: Металлургия, 1982. – 544 с.
3. Лисин И.О., Филимонов В.И., Дементьев К.С., Филимонов А.В. Учёт деформационного упрочнения при технологических расчётах гибки заготовки в роликах профилировочных станков // КИП.ОМД, 2014, № 9. – С. 12 – 17.
4. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / Третьяков А.В., Зюзин В.И. – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.
5. Илюшкин М.В. Интенсивная технология производства гнутых профилей из материалов с покрытием в роликах / М.В. Илюшкин, В.И. Филимонов. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 200 с.
6. С.В. Филимонов, В.И. Филимонов, В.В. Марковцева, И.О. Лисин Влияние контактных напряжений на стойкость полимерных покрытий при профилировании // Упрочняющие технологии и покрытия, 2014, № 10. – С. 36 – 41.
7. Филимонов В.И., Филимонов С.В., Марковцева В.В., Лисин И.О. Локализация участков формирующих роликов под упрочнение на основе анализа силовых параметров и прогнозирования износа оснастки / В.И. Филимонов, С.В. Филимонов, В.В. Марковцева, И.О. Лисин // Упрочняющие технологии и покрытия, 2014, № 7. – С. 31-38.

УДК 621.981. 21

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК В СВЕЖЕЗАКАЛЕННОМ СОСТОЯНИИ ДЛЯ ПАНЕЛЕЙ ФЮЗЕЛЯЖА САМОЛЕТА МС-21

Марковцев В. А.¹, Илюшкин М. В.², Попов А. Г.³

1 – к.т.н., ген.директор АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск

2 – к.т.н., зам.ген.дир. по науке АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск

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

С учетом современных тенденций в самолетостроении в конструкции фюзеляжа самолета МС-21 применяются панели, в которых обшивки соединены со стрингерами и шпангоутами из высокопрочных алюминиевых сплавов. Стрингеры этих панелей изготавливаются из гнутых профилей производимых гибкой –прокаткой на станках ГПС разработанных и изготовленных АО «Ульяновский НИАТ» [1].



Рис. 1. Панели фюзеляжа самолета МС-21

В настоящее время при изготовлении стрингеров панелей фюзеляжа самолета МС-21 используется технологический процесс предполагающий выполнение следующих операций:

1. Изготовление профилей гибкой-прокаткой на станках ГПС,
2. Обезжиривание профилей

3. Отрезка профилей на заготовки заданной длины,

4. Закалка заготовок из профилей,

5. Правка заготовок из профилей на растяжных правильных прессах;

6. Изготовление заготовок стрингеров:

6.1. Отрезка технологических припусков для прямых стрингеров, очистка поверхности заготовки;

6.2. Продольная гибка профиля на профилегибочном прессе в свежезакаленном состоянии с последующим удалением припуска и очисткой заготовки.

Так как размеры панелей фюзеляжа в самолете МС-21 достигают 7 м, операции правки и закалки заготовок из профилей предполагают использование габаритного термического и правильного оборудования, а также значительных трудозатрат. Все это практически исключает применение данной технологии при серийном производстве панелей фюзеляжа.

Более 50% панелей фюзеляжа самолета МС-21 не обладают продольной кривизной и, соответственно, заготовки стрингеры этих панелей не подвергаются продольному изгибу. Это позволяет изготавливать данные заготовки без припуска для зажима в профилегибочных прессах.



Рис. 2. 3D модель профиля для стрингера

Для обеспечения серийного производства на АО «Авиастар-СП» предполагается изготавливать профильные заготовки стрингеров в свежезакаленном состоянии для панелей фюзеляжа самолета МС-21 с выполнением следующих операций:

1. Раскрой рулона из состояния М на ленты произвольной длины

2. Зачистка заусенцев по кромке ленты

3. Отрезка ленты заданной длины и намотка ее на специальную

катушку для термообработки

4. Полировка роликовой оснастки и настройка станка ГПС;
5. Закалка ленты на специальной катушке
6. Установка специальной катушки с лентой на станок ГПС и формообразование профилей в свежезакаленном состоянии
7. Обезжиривание профилей
8. Контроль профиля;
9. Изготовление заготовок стрингеров:
 - 9.1. Очистка поверхности заготовки для прямых стрингеров;
 - 9.2. Продольная гибка профиля в свежезакаленном состоянии с последующим удалением припуска и очисткой заготовки.

Данный технологический процесс может быть реализован путем доработки установленного на АО «Авиастар-СП» станка ГПС-350М6, разработки и изготовления специальных катушек для термообработки, установки дополнительного полировального устройства, проведения опытно-технологических работ и разработки директивного техпроцесса.

Экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии:

- снижение трудозатрат на изготовление профильных заготовок за счет повышения производительности и исключения операции растяжения профилей;
- сокращение расхода материала на изготовление прямых заготовок стрингеров (а таких заготовок более 50 %) за счет отказа от припусков для операции растяжения.
- уменьшение затрат на использование габаритного правильного и термического оборудования для работы с профильными заготовками до 7,5 м.

Список литературы

1. Марковцев В.А., Баранов А.С., Илюшкин М.В., Попов А. Г. Изготовление шпангоутов и стрингеров с продольной кривизной из гнутых профилей // Авиационная промышленность. – 2013. – №3. – С. 32-34.

УДК 621.981

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ УГОЛКОВОЙ ЗОНЫ ЭДТ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ С ПОКРЫТИЕМ

Марковцева В.В.¹, Морозов О.И.²

1 – м.н.с. ОА «Ульяновский НИАТ», аспирант каф. «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

2 – бакалавр 4 года каф. «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

Элементы двойной толщины (ЭДТ) являются одним из типовых элементов жесткости. ЭДТ могут быть выполнены на подгибаемых или неподгибаемых горизонтальных, наклонных или вертикальных несущих полках [1]. На рисунке 1 представлены примеры профилей с элементами двойной толщины.

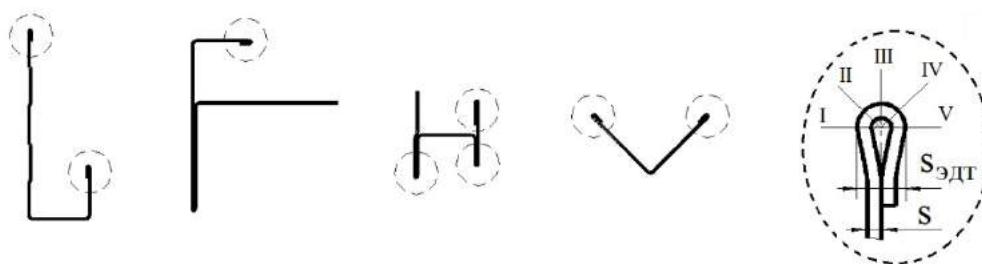


Рис. 1. Контуры контактных давлений по полке профиля со стороны нижнего ролика при изготовлении швеллера 60×38×3

Формообразование профилей из материалов с покрытием требует более щадящих схем в силу возникновения различных видов дефектов. Наибольшее их количество сконцентрировано, как правило, в зонах сгиба профиля: трещины и разрывы в слое покрытия на наружном контуре углового элемента, а также складки на внутреннем контуре. Однако зачастую становится необходимым получение таких деталей с защитными покрытиями. В этой связи актуальным является поиск новых способов формообразования с учетом назначения профиля, а также заданных требований к качеству покрытия.

Цель данной работы – выявить дефекты покрытия, возникающие в зонах сгиба ЭДТ. Для этого была разработана модель процесса формообразования элемента двойной толщины из материала с покрытием (стальная подложка и цинковое покрытие) методом конечных элементов в программе Ansys LS-Dyna. Для ускорения расчетов модель была создана двумерной.

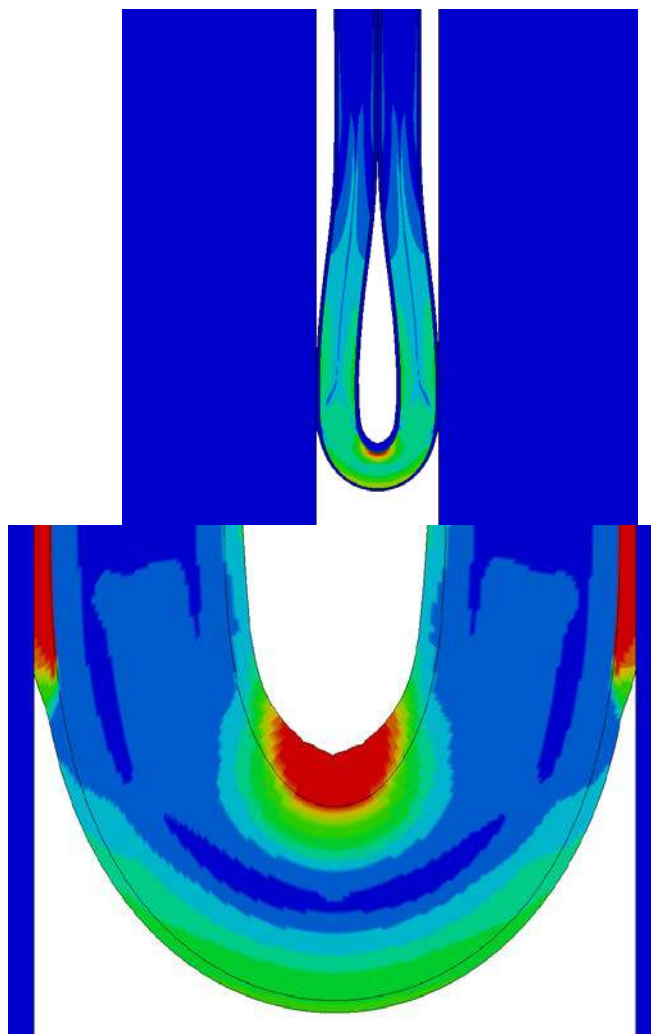


Рис. 2. Получение ЭДТ из материала с покрытием

На рисунке 2 изображен сформованный элемент двойной толщины. При увеличении зоны сгиба можно увидеть, что на внутренней поверхности образовались складки, на наружной поверхности произошло утонение слоя покрытия, однако его сплошность не нарушена. Наибольшие деформации возникли на внутреннем контуре, а также в зоне контакта заготовки и инструмента.

Полученные с помощью моделирования данные подтверждают результаты исследований, проводимых ранее на предприятии ОАО «Ульяновский НИАТ» при отработке технологии производства гнутых профилей из авиационного материала 1163.



Рис. 3. Исследуемые гнутые профили с покрытиями

Основными методами исследования структуры материалов являются световая и электронная микроскопия. Методы исследования материалов с помощью оптических микроскопов позволяют наблюдать структуру специально подготовленных образцов (микрошлифов) при увеличениях от 30 – 50 до 1500 – 1800. Этот анализ позволяет установить связь химического состава, условий производства и обработки сплава с его микроструктурой и свойствами.

Качественный микрошлиф должен отвечать ряду требований:

- Прежде всего, он должен быть представительным для структуры и свойств изучаемого объекта (детали).
- Вырезка, шлифование и полирование образца должны осуществляться таким образом, чтобы на его поверхности оставался минимальный слой деформированного металла.
- На поверхности шлифа не должно быть царапин, рисок, ямок и загрязнений.
- В процессе приготовления шлифа не должно происходить выкрашивания неметаллических включений карбидных и других фаз.
- Кроме того, поверхность шлифа должна быть достаточно плоской, чтобы его можно было рассматривать при больших увеличениях.

Требования к качеству шлифов, изучаемых на автоматических микроскопах для количественного анализа повышенные.

Методика проведения микроанализа:

1. Вырезка образца (не обязательно).
2. Закрепление образца или монтирование (не обязательно).
3. Шлифовка.
4. Полировка.
5. Травление (выявление микроструктуры).

Вырезка образцов была проведена в соответствии с соблюдением определенных мер предосторожности, чтобы не вызвать изменения структуры из-за наклепа или нагрева. Для удовлетворительной резки, обеспечивающей отсутствие прижогов и значительного деформационного повреждения поверхности, важно выбрать соответствующий круг и режим

резания. Для резки сталей предпочтительнее использовать круги с абразивными частицами из Al_2O_3 , а для резки цветных металлов – круги с частицами SiC.

Так как в случае с исследованием профилей с покрытием, действие нагрева и давления при запрессовке может привести к нежелательным изменениям структуры или вызвать деформацию образцов, то была использована холодная заделка образцов с помощью эпоксидной смолы. Этот метод не требует специального оборудования и позволяет одновременно устанавливать в оправку несколько образцов. В данной работе образцы устанавливали в металлические втулки и заливали смесью эпоксидной смолы с отвердителем.

После получения плоской поверхности образец шлифуют бумажной шлифовальной шкуркой вручную или на шлифовальных станках. При механическом шлифовании шкурку закрепляют на вращающемся круге с помощью зажимных колец или клеевого покрытия на обратной стороне шкурки, а образец прижимают к шкурке вручную или устанавливают в зажимное приспособление станка. Шлифование проводят, используя наждачную бумагу нескольких номеров с последовательно уменьшающейся зернистостью. Во время шлифования на каждой шкурке следует сохранять одно и то же положение образца, чтобы все риски на его поверхности были параллельны. При переходе к шкурке следующего номера направление шлифования изменяют на 90° и проводят его до полного удаления всех рисков, образовавшихся во время предыдущей операции. Важная задача шлифования – достижение минимальной толщины слоя деформированного металла, чтобы последние его следы можно было удалить последующим полированием. Глубина царапин и толщина слоя деформированного металла под царапинами уменьшаются с уменьшением размера абразивных частиц. Для оценки качества шлифования можно исследовать поверхность образца при переходе от одной ступени к другой под микроскопом.

Полирование служит для удаления мелких рисков, оставшихся после шлифования, и получения гладкой зеркальной поверхности шлифа. В ходе данного исследования был применен механический метод полирования на вращающемся круге с натянутым полировальным материалом, на который непрерывно или периодически наносят очень мелкий абразив в виде суспензии, разведенной в воде. Важное условие получения качественных шлифов – тщательное соблюдение чистоты при полировании. После каждой операции приготовления шлифа образец необходимо тщательно промывать под струей воды, чтобы исключить загрязнение полировального круга абразивными частицами и продуктами резания, внесенными с предыдущих операций.



Рис. 4. Подготовленные шлифы для исследования структуры профилей

Большинство способов выявления микроструктуры сводится к выявлению границ между фазами, к получению рельефа на поверхности зерен и окрашиванию фаз или структурных составляющих. При этом удастся выявить качественное различие фаз, двойниковые образования, блочную структуру и ориентировку зерна относительно плоскости шлифа и взаимную ориентировку зерен. В данной работе было применено химическое травление растворами. Способ нанесения травящего реактива выбирается в зависимости от его состава и состава сплава. Применяется погружение образца полированной поверхностью кверху или книзу, втирание ватой, смачивание поверхности из капельницы или пипетки. На рисунке 4 представлены фотографии полученных шлифов, на рисунке 5 представлены фотографии микроструктуры исследуемых профилей.

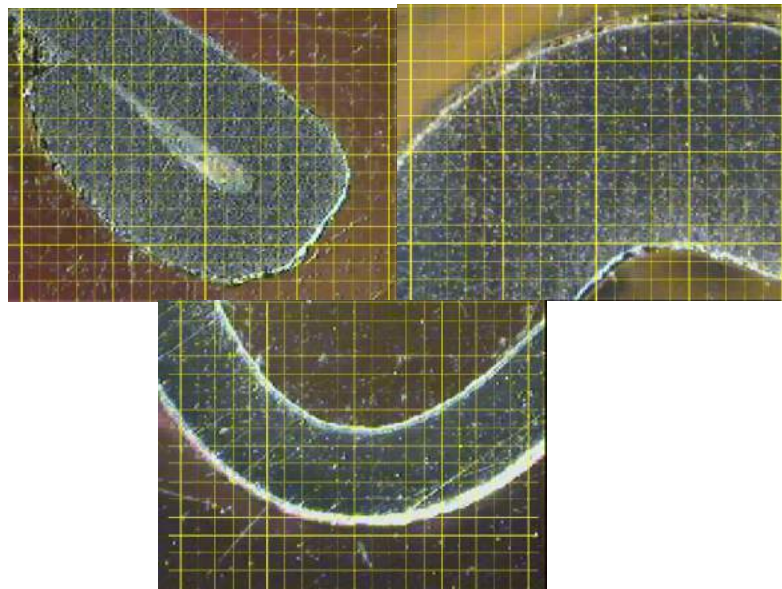


Рис. 5. Фотографии структуры профилей с покрытиями

Список литературы

1. Арисова, В.Н. Методы исследования материалов и процессов. Часть 2: учеб. пособие / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 96 с.
2. Литовченко, С.В. Приготовление образцов для металлографического исследования микроструктуры: Методические материалы к выполнению лабораторных работ по металлографии / С.В. Литовченко, Е.А. Доценко, С.Ю. Кочетова / Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина. – Харьков, 2011. – 14 с.
3. Илюшкин М.В. Интенсивная технология производства гнутых профилей из материалов с покрытием в роликах / М.В.Илюшкин, В.И. Филимонов. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 200 с.
4. Илюшкин М.В., Марковцева В.В. Экспресс-контроль качества ЛК-покрытий лент и листов / Вузовская наука в современных условиях: сборник материалов 47-й НТК. В 3 ч. Ч. 1. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 223 с. – С. 96 – 98.

УДК 629.014

ДИАЛЕКТИКА КОНСТРУИРОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В РОССИЙСКОМ И ЗАРУБЕЖНОМ ОПЫТЕ САМОЛЕТОСТРОЕНИЯ

Марковцева О.Ю.¹, Сивак Е.И.²

1 – д.ф.н., профессор каф. Гуманитарных и социальных дисциплин ФГБОУ ВО
«Ульяновский институт гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б.П.
Бугаева», г. Ульяновск

2 – курсант группы П-12-1, факультет Летной эксплуатации и управления воздушным
транспортом ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации им. Главного
маршала авиации Б.П. Бугаева», г. Ульяновск

Целью данного исследования является описание специфики проектирования, изготовления и эксплуатации летательных аппаратов в России и других стран на основе диалектического метода. Такая теоретическая работа позволит выявить особенности современной авиации нашей страны и зарубежного опыта, указать пути возможного взаимодействия исторически сложившихся способов эксплуатации воздушных судов разных стран. Почему важно и даже необходимо говорить о взаимодействующих факторах в данной области государств? Потому что основной задачей любой авиации остается проблема повышении уровня безопасности полетов. Статистика показала, что за последние 5 лет произошел рост авиакатастроф в мировом сообществе государств. В результате исследований стало известно, что основной причиной катастроф являются ошибки пилотов, выраженные в непонимании философии полета того или иного воздушного судна. Таким образом, низкий мировоззренческий и профессиональный уровень пилотов, а также техническое несовершенство авиатранспорта создают негативные условия современной международной авиации. В данной работе, подчеркнем, на основе диалектических принципов анализа специфики отечественной и западной авиационной практики определим возможные пути оптимизации гражданской авиации

Дадим общее понятие диалектики. В данном случае диалектика- метод познания действительности, учение о единстве мира, всеобщих тенденций развития природы, общественных сфер. Данная методология включает в себе систему принципов, правил, приемов, законов и категорий, применение которых в частной исследовательской области создает инновационную ситуацию. В данной работе использованы также исторический метод, метод сравнительного анализа.

Истории развития авиации каждой страны показала, что эта технико-технологическая область непосредственно связана с особенностями социальной практики.

Например, зарождение и развитие российской авиации пережила в советский период, когда основной целью государства являлась глобальная задача наращивания военного потенциала. Это было связано с угрозой со стороны других государств вторжения в нашу страну с целью ее захвата. Исторически сложилось, что советская гражданская авиация была вторичным или «побочным продуктом» военного авиапрома. В гражданской авиации использовались проекты, конструкции, которые не нашли своего применения в военно-промышленной авиатехнологии. Военная авиация, приспособленная для гражданских нужд, стала причиной формирования специфических характеристик современной гражданской авиации в нашей стране. Каких? Например, управление самолетом подразумевает наличие по меньшей мере 5 человек среди которых техник, радист, бортинженер. Техника при таком подходе эксплуатируется максимально, с задачей постоянного продления ее ресурсов. Такая практика эксплуатации авиасудов создавала угрозу безопасности полетов, ее компенсировал высокий уровень профессионализма экипажа. Подобная сложившаяся традиция определила диалектическое взаимодействие простых конструкции гражданских самолетов со строгим, четким выполнением технологической работы экипажа, чтобы надежность воздушных судов гарантировалась. Экипаж, испытывая высокую степень напряжения, в процессе длительных, нестандартных полетов приобретал разнообразный опыт полетных ситуаций.

Основной целью западной гражданской авиации всегда являлось обеспечение экономической целесообразности, развития авиабизнеса путем снижения затрат, обеспечения экономии самолетостроения. Практика полетов зарубежных стран показала, что обеспечение наивысших показателей безопасности и экономичности полетов, требует точного выполнения процедур взлета, захода на посадку, посадки. Поэтому ведущие авиакомпании, такие как "Boeing" и "Airbus" пришли к решению максимально автоматизировать воздушные суда, компьютеризировать их управленческие процедуры. Роль пилотов сводилась к точному выполнению, технических возможностей самолета, контролю параметров работы этих систем. Таким образом устранялась необходимость использования многочисленных экипажей. Его состав свелся к двум членам: капитану, отвечающему за проведение полета, и второму пилоту. Для обеспечения точности и надежности работы систем эксплуатации самолетов, стала модернизация их каждые 5-10 лет.

Различие подходов в русской и западной философии гражданской авиации отразилось в специфике подготовки пилотов гражданской авиации той и другой стороны. Обучение летного кадрового состава на западе сводилось к механике и точности выполнения комплекса операций, связанных с управлением воздушного транспорта, к строгому выполнению требований авиационных правил, а также высокой тренажерной подготовке

пилотов. Западному летчику, законопослушному гражданину, такая методика профессионального обучения была близка по духу, она не противоречила исторически сложившемуся менталитету народов. Западный летчик, привычно живущий в цивилизационных условиях разнообразия передовых технических средств, устройств, обладает психологической чертой доверять работе машины, техники. Технократический подход в практике полетов у него выше, чем у российских пилотов. Подготовка пилотов в Европе или Америке занимает приблизительно 16 месяцев. Автоматизация и сокращение экипажа привели к тому, что западные пилоты стали превращаться в операторов, своеобразному живому «приложению» к воздушному транспорту.

Обучение летного состава в нашей стране предполагает автономную работу авиаторов в любых, даже самых непритязательных авиатехнических условиях. По традиции в российской авиации ставится акцент на высокой теоретической подготовке пилотов, приобретение разнообразного опыта управления материальной базой полетов. Это позволяет в любой даже экстремальной ситуации обеспечить поиск оптимальных нестандартных решений. Для российских летчиков привычно во время управления самолетом действовать не по стандартам, а по здравому смыслу. Несмотря на общее требование в гражданской авиации строго придерживаться руководящих инструкций пилотажа, российские летчики во время полетов широко используют профессиональное творчество. В системе «авиамашина-человек-стихия» ведущим фактором является человек. И если «машина» станет «подводить», у человека есть возможность нормализовать полет, то есть привести его в рабочее, управляемое состояние.. Даже в аварийной ситуации отечественный пилотаж способен быстро реагировать на динамику непредвиденных изменений обстоятельств полета. Обучение пилотов в России носит трудоемкий характер. Получается, процесс формирования в данное время требуемого уровня их профессионализма длителен.

Следующая характерная черта российской философии гражданской авиации связана с современными тенденциями повышения практики пилотирования на иностранных самолетах. Отечественные крупные авиаперевозчики ("Аэрофлот" и др.) с 1990-х годов используют "авиаинмарки". Активное применение иностранных самолетов привело к внедрению западных авиационных характеристик в отечественную практику. Эти исторические обстоятельства внесли изменения в перечень основных принципов русского авиапланирования, причем как в гражданской, так и в военной сфере. В итоге российская авиация стала объединять в себе образец западного опыта с опытом персональным. Появились инновационные (более автоматизированные) конструкции гражданских самолетов, например, Ту-204, или военно-транспортный Ил-76. В этих моделях пилот нашел свое место уже не в качестве придатка к «машине», а как субъект техники, который реализует функцию управления ею. Создалась

метафизическая ситуация контроля Человеком созданных им технических проектов. Техногенная цивилизация, преодолевая известные негативные противоречия, начинает постепенно приобретать антропологические характеристики.

Выводы. В процессе исторического развития отечественная и западная авиация развивались по разному пути. Причиной этого стала специфика социальных и научно-технологических условий различных стран. В последнее время отечественная авиация стала воспринимать принципы западной автоматизации ВС. Такой подход оптимизировал российскую авиационную практику, связанную с повышением уровня безопасности авианавигации.

Список литературы

1. Человек: Информация, Технология, Знак // Сборник научных трудов / под ред. Марковцевой О.Ю. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 151 с.
2. <http://vas-ershov.com/articles/02-dva-vzglyada.html>
3. <http://forum.nashtransport.ru/index.php?showtopic=13215>
4. <http://kazbook.narod.ru/knigi/21/23.htm>
5. <http://ponjatija.ru/taxonomy/term/1682>
6. <http://www.boeing.ru/Boeing-%D0%B2-7>.
7. <http://www.boeing.ru/Boeing-%D0%B2-7-%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%8F/%D0%98%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F.page>

УДК 629.735.33

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ И РОБОТИЗИРОВАННАЯ РАЗДЕЛКА ОТВЕРСТИЙ ПРИ СБОРКЕ СОВРЕМЕННЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ

АППАРАТОВ

Пикалов А.А.

*Ведущий инженер-технолог, филиал ПАО «Корпорация «Иркут» в г. Ульяновск
432072, г. Ульяновск, пр. Антонова, 1
e-mail: anton.pikalov@ufki.irkut.com*

Доклад является кратким обзором передового оборудования, применяемого ведущими авиастроительными компаниями для обработки авиационных конструкций из высококомодульных углепластиков и труднообрабатываемых металлов при автоматизированной сборке агрегатов.

Ключевые слова: углеродное волокно; композиционный материал, армированный углеродным волокном (КМУ); режущий инструмент (РИ); агрегатно-сборочное производство (АСП); сверлильная машина с автоматической подачей режущего инструмента (СМАП); воздушно-смазочная смесь (MQL); специальная технологическая оснастка (СТО)

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время углеродное волокно получает всё большее применение, поэтому возрастает необходимость автоматизации его производства для повышения производительности. Углеродное волокно может быть прочнее стали, легче алюминия и такое же жесткое, как титан.

Углеродное волокно применяется для уменьшения веса конструкции самолета, в результате чего снижается расход топлива, количество выбросов в атмосферу и повышается грузоподъемность.

При этом повышаются требования:

- к функциональности оборудования
- к эффективности режущего инструмента
- к качеству обработанных отверстий и кромок

Композиты и особенно углепластики получают большое распространение за счет своих полезных свойств. Особые свойства КМУ обеспечивают такие преимущества, как снижение затрат, сохранение окружающей среды и расширение технологических возможностей. Сегодня композиты применяются во многих отраслях (рис. 1), в том числе и в аэрокосмической промышленности.



Рис. 1. Области применения композитов

ПРИМЕНЕНИЕ КМУ В АВИАСТРОЕНИИ

В авиастроении важным преимуществом КМУ является возможность снижения веса конструкций. Так, в новейших моделях самолетов >50% по весу составляют композиты (рис. 2, 3).

В зависимости от области применения определяются геометрия и типы КМУ:

- Несущие элементы конструкции - Эпоксидная смола с высокой или средней термостойкостью, высокопрочные (HS) или высокомодульные (IM) углеродные волокна
- Интерьер - Фенольные смолы, высокопрочные (HS) углеродные волокна, стекловолокно, арамид (кевлар)
- Ненесущие элементы конструкции - Смолы с низким сопротивлением деформации (полиэстер, винилэстер)



Рис. 2. Кессон кия современного ЛА (внутренняя часть)

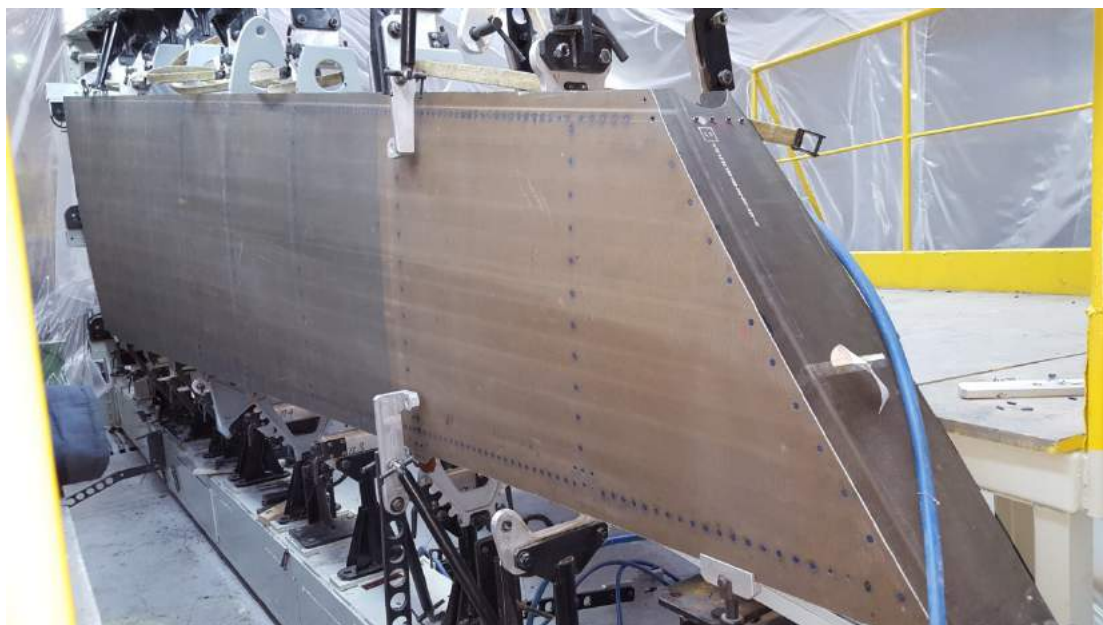
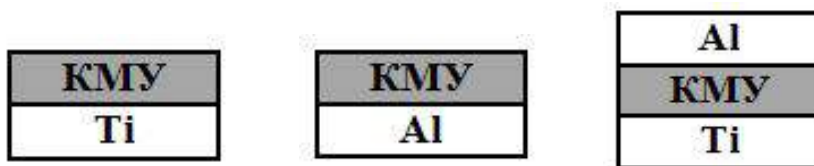


Рис. 3. Кессон кия современного ЛА (внешняя часть)

Современные материалы становятся более труднообрабатываемыми. Пластики, армированные углеродным волокном (КМУ), часто используются в пакетах с алюминиевыми или титановыми сплавами.

Стандартный состав такого пакета:



ОБРАБАТЫВАЕМОСТЬ КМУ

- Качество обработки углепластиков визуально оценить крайне сложно:
 - нет стружки, по которой можно судить о качестве обработки
 - измерение шероховатости не имеет большого значения
 - разрушения не всегда видимы
- Основной индикатор – качество отверстия и состояние режущего инструмента.
- Деламинация - отделение низлежащего слоя (слоев) из-за большой осевой силы резания при сверлении (рис. 4).
- Сколы - наличие фрагментов волокон внутри отверстия из-за недостаточной эффективности резания (рис. 5).

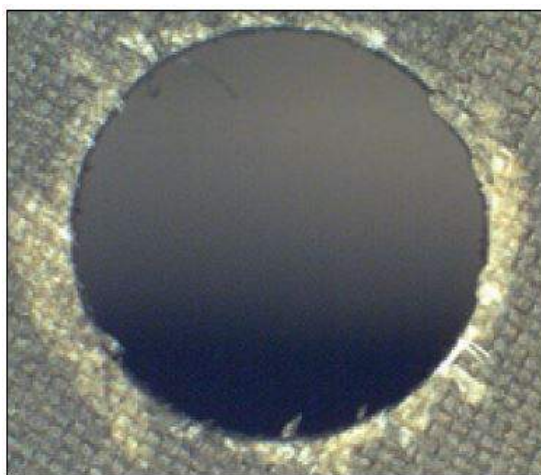


Рис. 4. Деламинация



Рис. 5. Сколы

ТРЕБОВАНИЯ К РАЗДЕЛКЕ ОТВЕРСТИЙ

- В КМУ:
 - Шероховатость $Ra < 4,8$ мкм
 - Деламинация < 1 мм от диаметра отверстия
 - Отсутствие сколов (рваных волокон в отверстии)
- В смешанных пакетах:
 - Шероховатость $Ra < 3,2$ для КМУ
 - Шероховатость $Ra < 1,6$ для Al и Ti
 - Точность отверстия: от ± 20 мкм до ± 40 мкм
 - Отсутствие деламинации и сколов на выходе отверстия
 - Отсутствие повреждения волокон стружкой от металлических материалов в пакете

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛКИ ОТВЕРСТИЙ

Специфические особенности АСП авиационных конструкций исключают возможность использования для обработки отверстий стационарного механообрабатывающего оборудования. С увеличением объемов применения КМУ в высоконагруженных особо ответственных элементах конструкции планера, растёт актуальность разработки эффективных методов и средств механической обработки.

Обычно при механизированной обработке отверстий используется:

- Ручной сверлильный инструмент (не рассматривается)
- Автоматизированные СМАП (рис. 6):
 - пневматические
 - электрические
- Роботизированные платформы (рис. 7)



Рис. 6. СМАП пневматическая ф.Lubbering (слева) и электрическая ф.Seti-Тес (справа)

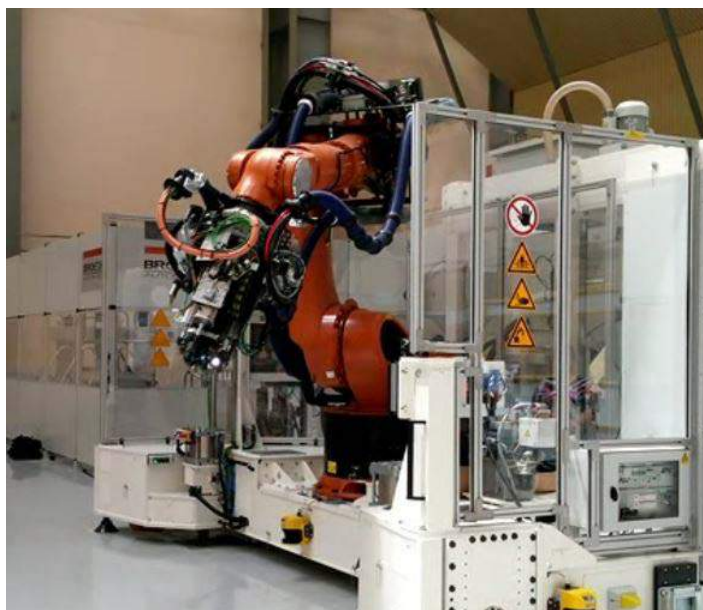


Рис. 7. Роботизированная платформа на базе робота ф. KUKA

СМАП являются оборудованием для ручной обработки отверстий нового поколения. Они предназначены для разделки отверстий, как в однородных материалах, так и в смешанных пакетах материалов. Для применения СМАП необходимо наличие специальной технологической оснастки - кондуктора, который монтируется непосредственно на обрабатываемой поверхности (рис. 8), специального РИ. Способы фиксации СМАП в кондукторе различны и зависят от конкретной задачи.

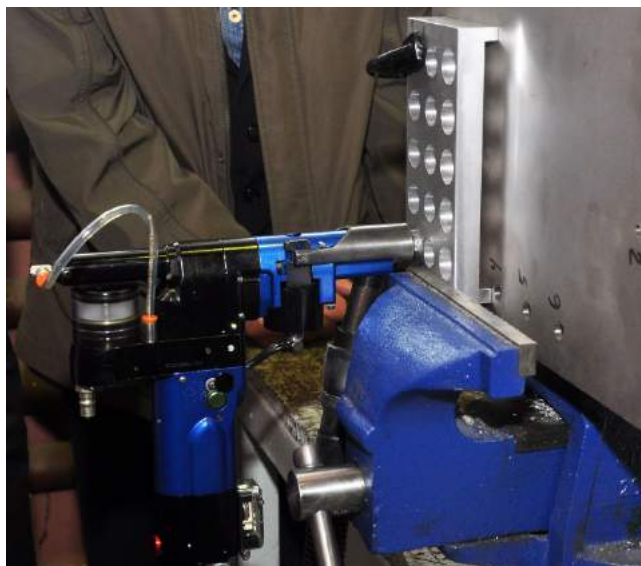


Рис. 8. Фиксация СМАП на обрабатываемой поверхности с помощью кондуктора

Роботизированные платформы, в свою очередь, не требуют наличия кондукторов. С помощью промышленных роботов в автоматическом режиме выполняется полный цикл сборочных операций:

- позиционирование собираемой конструкции или агрегата
- разделка отверстий (сверление и зенкование)
- подача крепёжного элемента
- нанесение герметика
- установка крепёжного элемента
- затяжка крепёжного элемента
- расфиксация и перемещение собранной конструкции или агрегата
- возвращение на начало цикла

Современные автоматизированные и роботизированные устройства осуществляют процесс подачи-возврата режущего инструмента в автоматическом режиме. Приводом служит, как пневматический, так и электрический двигатель.

При сверлении с постоянной подачей образуется более крупная и длинная стружка, при этом стружка более твердого слоя, проходя через более мягкий материал, может повредить поверхность отверстия в мягком слое. Поэтому современные устройства оснащены микровибрационной («клюющей») подачей РИ, которая исключает этот недостаток благодаря образованию мелкой, фрагментированной стружки, выводимой из зоны обработки с помощью промышленного пылесоса (рис. 9).



Рис. 9. Стружка при «клюющей» (слева) и постоянной подаче (справа)

Выбор подходящего механизма зависит от следующих факторов:

- габариты конструкции
- свойства материалов пакета
- параметры отверстий (диаметр, допуск на размер, наличие зенкования)
- наличие пространства для подхода
- условия подачи воздушно-смазочной смеси MQL через полый шпиндель и маслоканалы в РИ (рис. 10)



Рис. 10. Воздушно-смазочная смесь (MQL)

Пневматические СМАП настраиваются на один конкретный режим обработки (скорость резания, величина подачи РИ, MQL), в то время как электрические и роботизированные платформы могут быть запрограммированы на различные режимы. Причём, зачастую режимы требуется изменять в рамках одного рабочего цикла. Это относится к разделке смешанных пакетов из разнородных материалов.

Эл. СМАП (рис. 11) имеют блок памяти, в который через контроллер загружается программа рабочего цикла с ПК. После загрузки программы ПК не участвует в рабочем процессе. Так же блок памяти

служит для записи всех параметров рабочего цикла для последующей передачи данных через контроллер на ПК.



Рис. 11. Комплект эл. СМАП

Выходная информация возвращается обратно на ПК и хранится в статистической базе данных или на сервере. Настоящей информацией можно пользоваться повторно, детально воспроизведя удачный опыт и корректируя неудавшиеся моменты.

Существует два метода программирования эл. СМАП:

- Метод ручного задания вводных данных
- Эмпирический метод ввода данных

В первом случае в качестве вводных данных служат:

- информация о составе пакета
- толщины слоёв пакета
- изменением режимов обработки в рамках одного рабочего цикла (быстрая подача на холостом ходу при входе в материал/переход из материала в материал/выход из материала)
- наличие MQL на каждый слой или полное её отключение на любом слое
- сохранение статистической справки с указанием геометрических характеристик (номинальный диаметр, угол заточки РИ, давление пневмосети, max и min значения режимов обработки и т.д.)

Во втором случае в качестве вводных данных служат:

- Значение осевого усилия резания (индивидуально для всех слоёв пакета)
- Величина крутящего момента на РИ (индивидуально для всех слоёв пакета)
- Скорость резания (индивидуально для всех слоёв пакета)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в аэрокосмической промышленности происходит поэтапный процесс отхода от ручного механизированного труда и перехода на автоматизированные решения и роботизированные комплексы.

Новейшие решения в области автоматизации позволяют осуществлять:

- позиционирование собираемой конструкции или агрегата
- разделка отверстий (сверление и зенкование)
- подача крепёжного элемента
- нанесение герметика
- установка крепёжного элемента
- затяжка крепёжного элемента
- расфиксация и перемещение собранной конструкции или агрегата
- возвращение на начало цикла

Выбор оптимальных режимов обработки в совокупности с усовершенствованием геометрии РИ и смазок по-прежнему является краеугольным камнем технологического процесса обработки авиационных конструкций из высокомодульных углепластиков и труднообрабатываемых металлов.

УДК 004.891+629.7.08

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ОТКАЗОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ОБОРУДОВАНИЯ САМОЛЁТА «ТУ-204СМ» В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рыжак С.Г.¹, Должиков В.А.², Перфильев О.В.³

1 – к.т.н., директор УФКБ ПАО «Туполев», г. Ульяновск

2 – зам.директора УФКБ ПАО «Туполев», г. Ульяновск

3 – к.т.н., УФКБ ПАО «Туполев», г. Ульяновск

Экспертная система анализа неисправностей (ЭСАН) «Когнитолог» предлагается в качестве средства по реализации Государственной программы безопасности полётов (ГосПБП) на 2008-2015гг. по учёту отказов, их анализу, разработке предложений по их предупреждению и устранению [1].

Постоянное усложнение состава бортового оборудования, систем и механизмов самолёта, с одной стороны и необходимость постоянного повышения уровня безопасной эксплуатации самолёта с другой, требуют адекватного совершенствования средств его послепродажного обслуживания.

В настоящее время расходы на техническое обслуживание (ТО) составляют от 12 до 18% от прямых эксплуатационных расходов [2].

Необходимость определения причин ненормального функционирования бортового оборудования систем и механизмов возникает на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ) самолёта. Более частыми являются случаи обращения экипажа к техническим службам при подготовке самолёта к полёту.

На этапе изготовления самолёта или при проведении «тяжёлых» форм обслуживания (при выполнении проверок работы бортовых систем и оборудования) фактически единственным надёжным средством определения причин ненормального функционирования бортового оборудования, является информация, содержащаяся в руководствах по техническому обслуживанию (РО, РЭ) и технологических картах (ТК), в которых описаны действия в случае выявления несоответствия.

Точность и оперативность определения причин ненормального функционирования бортового оборудования систем и механизмов конкретного экземпляра воздушного судна (ВС) зависит от анализа большого числа разнородных сведений, касающихся его ЖЦ. Например, таких как, данные системы встроенной системы контроля (ВСК) и бортовой системы технического обслуживания (БСТО), логика работы системы в контексте режима работы самолёта, как единого комплекса, надёжность отдельных

компонентов системы, статистика отказов системы, выполнение бюллетеней, проведение форм обслуживания и др.

Оперативное и точное определение причин ненормального функционирования бортового оборудования систем и механизмов ведёт к уменьшению стоимости ЖЦ самолёта и предотвращению лётных происшествий.

В настоящее время разработчик самолёта передаёт авиапредприятиям и авиакомпаниям, в составе руководства по эксплуатации самолёта, раздел «Поиск и устранение неисправностей» (ПиУН) на самолёте по каждой системе. Каждый разработчик системы и комплекса, в свою очередь, передаёт соответствующие разделы своих руководств по эксплуатации на систему [3]. Практическое применение этих средств неэффективно из-за присущих им недостатков, к которым относятся:

- использование «ручного» способа последовательного перебора всех возможных причин;
- необходимость «ручной» стыковки процедур поиска и устранения неисправностей по нескольким источникам;
- практически невозможно увеличить объём и глубину анализа неисправностей, приведённых в РЭ, в течение ЖЦ самолёта.

Указанные недостатки вызывают необходимость использования современных информационных технологий вместе с регистрацией в системе, наработанного за долгие годы опыта проведения технического обслуживания (ТО) при эксплуатации парка ЛА и, тем самым, определяют актуальность разработки специализированной человеко-машинной экспертной системы анализа неисправностей на самолёте (ЭСАН) на различных устройствах (смартфонах, планшетных компьютерах, персональных ПК).

Объектом исследования является ЭСАН.

Предмет исследования - использование удобного пользовательского интерфейса ЭСАН в авиакомпаниях России.

Целью создания ЭСАН является повышение оперативности поиска и качества послепродажного обслуживания самолётов, за счёт создания мобильного пользовательского интерфейса с использованием искусственного интеллекта при поиске причин неисправностей на самолёте.

Достижение указанной цели связано с решением следующих задач:

- сбор и регистрация видов отказов;
- снижение времени вынужденного простоя ВС;
- повышение качества подготовки технического персонала (авиаспециалистов) за счёт обучения от системы;
- предотвращение ошибочных действий при принятии решений авиаспециалистами;
- применение эффективных алгоритмов поиска причин неисправностей;

- разработка процедуры отсеивания вариантов, заведомо не дающих оптимального решения;

- разработка алгоритмов прогнозирования технического состояния изделия на основе статистических данных отказов по парку самолётов.

ЭСАН представляет собой компьютерную программу «Когнитолог», установленную на компьютерах зарегистрированных Пользователей, включает в себя иерархическую структуру базы знаний (БЗ).

Структура базы знаний ЭСАН «Когнитолог»

База знаний (БЗ) ЭСАН содержит исходную информацию, приведённую в Таблице 1. В течение жизненного цикла экземпляра ВС, когнитологи (эксперты) обеспечивают сбор и ввод в БЗ информации в соответствии с Таблицами 2, 3.

БЗ содержит классификацию неисправностей (иерархию их значимости) и алгоритмы поиска неисправностей на основе правил, имеющих вид продукционных моделей, которые учитываются при выработке рекомендаций по устранению неисправностей. Продукционная модель, или модель, основанная на правилах, позволяет представить знания в виде предложений типа «Если (условие)», «то (действие)».

Таблица 1

Исходная информация базы знаний для экземпляра ВС

№ № пп/п	Исходная информация базы знаний для экземпляра ВС
1	ПиУН из РЭ на самолёт и РЭ на ПКИ, РЛЭ:
1.1	Виды отказов элементов фидера (эл. проводка, эл. соединители, автоматы защиты) и алгоритм поиска отказов.
1.2	Виды отказов ПКИ и алгоритм поиска отказов из РЭ на покупное изделие, ТК.
2	Виды отказов при приёмо-сдаточных лётных испытаниях экземпляра ВС:
22.1	Виды отказов из листа замечаний по результатам контрольно-испытательного полёта.
22.2	Алгоритмы поиска причин отказов из листа замечаний по результатам полёта

Таблица 2

Информация, поступающая в базу знаний экземпляра ВС в течение ЖЦ

№№ п/п	Информация, поступающая в базу знаний экземпляра ВС в течение ЖЦ
11	Схемы электрические принципиальные и соединений
22	Данные бортовых систем:
2.1	Виды отказов, зарегистрированные многоканальной системой сбора, обработки и регистрации полётной информации (МСРП)
2.2	Виды отказов, зарегистрированные бортовой системой технического обслуживания (БСТО)
22.3	Виды отказов и недостатков, зарегистрированные пилотами в журнале замечаний по результатам полёта. Способы их устранения.
22.4	Сведения об отказах, поступающие от авиакомпаний.

Таблица 3

Дополнительная информация, используемая ПО «Когнитолог» при поиске причин неисправностей

№ № пп/п	Дополнительная информация, используемая ПО «Когнитолог» при поиске причин неисправностей
11	Статистические данные программы «Atlas»
12	Дополнительная справочная информация, необходимая для принятия решения о причине отказа.
33	Данные от высококвалифицированных специалистов (экспертов), вводимые в диалоговом режиме.

Структура программного комплекса «Когнитолог»

На рис. 1 представлена структура программного комплекса «Когнитолог». Данный программный комплекс имеет следующие основные компоненты: интерфейс когнитолога, интерфейс оператора, СУБД, сервер приложений.

Рассмотрим каждый компонент подробнее:

1. Интерфейс когнитолога предназначен для формирования базы знаний экспертной системы. Вся служебная информация необходимая для его работы, а также правила экспертной системы при этом хранятся в базе данных.

Когнитолог осуществляет сбор данных (знаний) и вносит их в систему в виде продукционных правил. Он осуществляет первоначальную настройку

системы, а именно: создаёт базу данных, размещает на сервере приложений web-сервисы и файлы базы знаний, редактирует конфигурационный файл для web-сервера, чтобы связать его с сервером приложений, определяет логику работы системы.

2. Интерфейс пользователя размещается на веб-сервере и предоставляется пользователю через браузер по протоколу http. Оператор через интерфейс пользователя обращается к экспертной системе за знаниями, при этом он вводит дополнительные параметры, запрашиваемые программой для достижения наиболее релевантного результата.

3. Сервер приложений Jboss предназначен для размещения веб-сервисов, позволяющих интерфейсу оператора взаимодействовать с базой данных и базой знаний экспертной системы, которая в этом случае представляет собой уже набор отдельных файлов с правилами.

4. СУБД Postgresql предназначена для хранения всех возможных данных и элементов, используемых в интерфейсах когнитолога и пользователя, например для хранения списка задач, категорий, альтернатив решений и т.д.

В случае необходимости может использоваться база данных оперативной информации и описания, которая является источником информации о текущей ситуации.

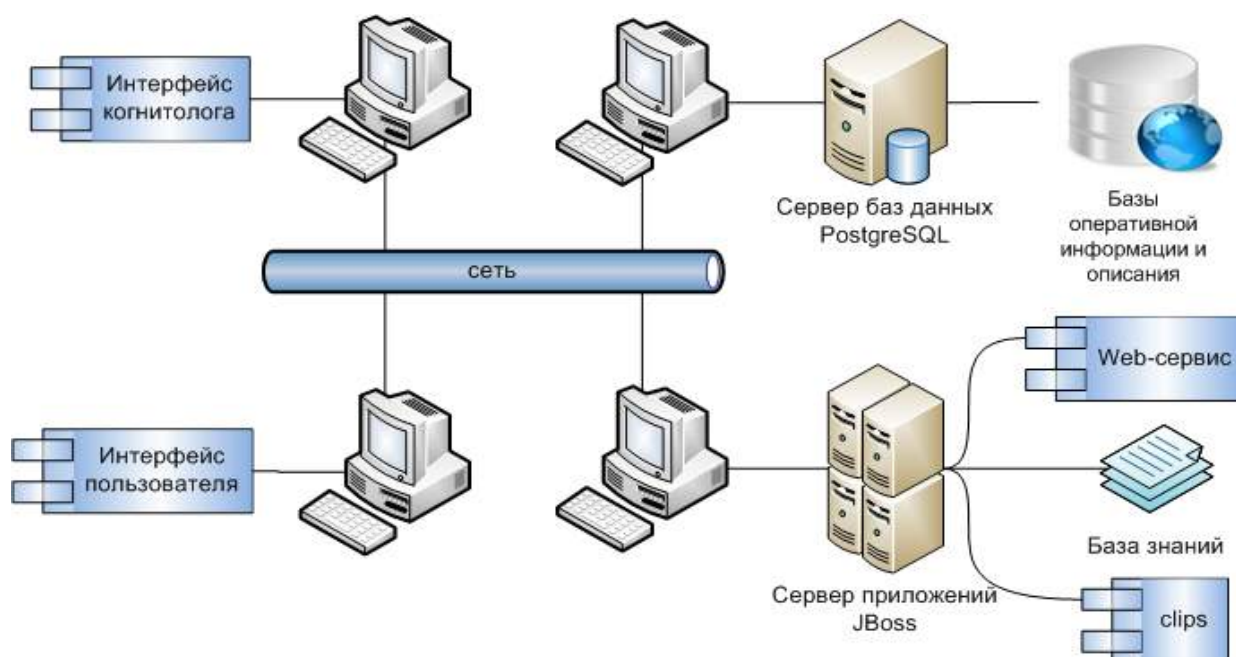


Рис. 1. Структура программного комплекса «Когнитолог»

Решение задачи

Интерфейс оператора состоит из блоков. Блоки и их описание приведены на рис. 2. Цифрами обозначено: 1 - блок «Вопросы к системе»; 2 - блок «Ответы».

1 - блок «Вопросы к системе» предназначен для вывода меню экспертной системы, в котором содержатся все возможные задачи, заложенные в её базе знаний. Данное меню представляет собой древовидный список, где все вопросы отсортированы по категориям/тематикам.

2 - блок «Ответы» предназначен для вывода ответов.

Пользователь выбирает одну или несколько задач и при необходимости отвечает на дополнительные вопросы.

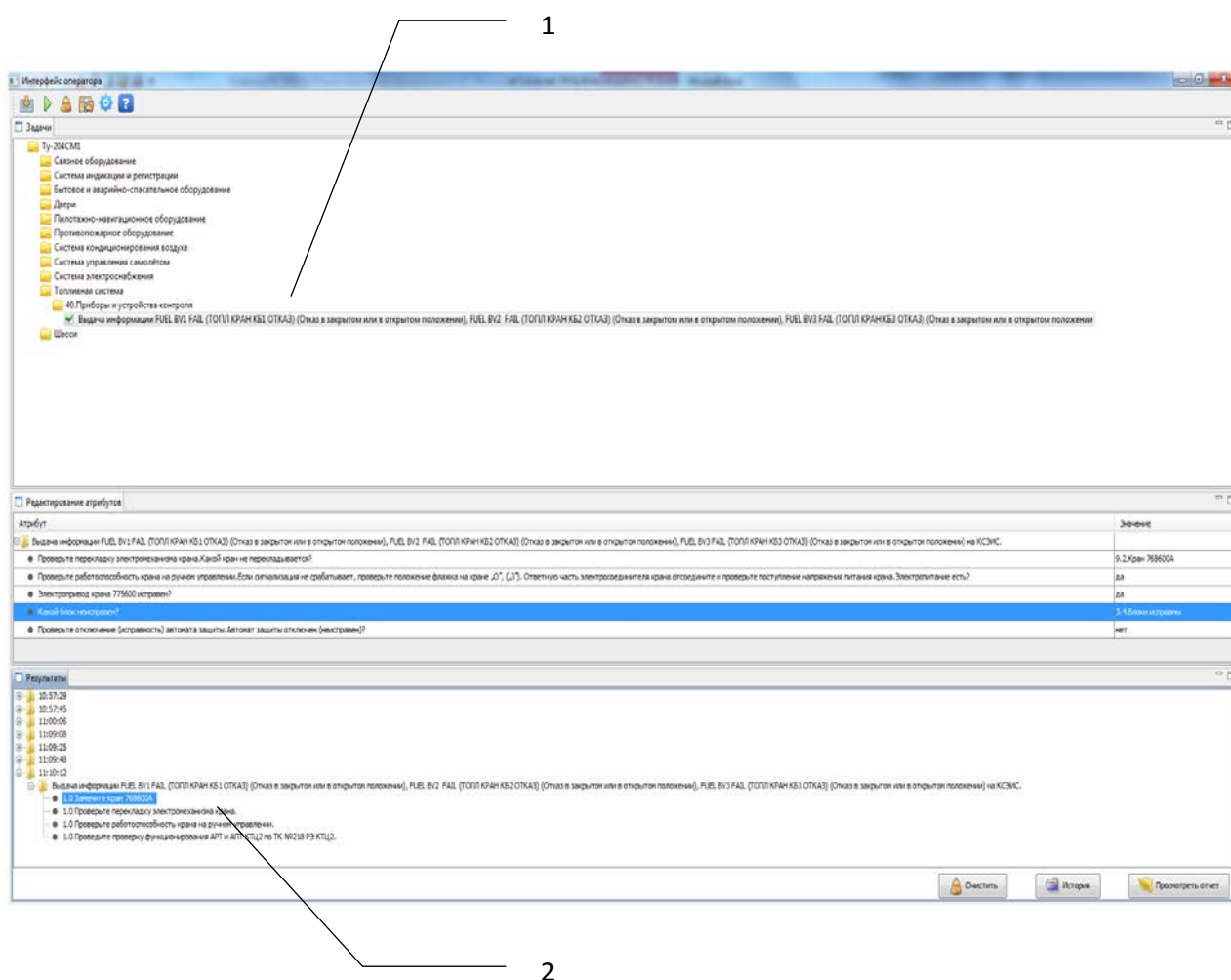


Рис. 2. Главная страница интерфейса экспертной системы

После ввода ответов на вопросы по задаче, пользователь запускает вывод в экспертной системе (кнопка ) . В результате вывода формируется решение (Рис. 3).

Кроме этого, решение может включать прикрепленный документ, вызов стороннего приложения или web-сервера.

Страница «решение» состоит из двух блоков: 1-«Решение», 2-«Дополнительный контент».

1- блок «Решение» предназначен для вывода текста с описанием решения (со ссылкой на модуль данных).

2- блок «Дополнительный контент» представляет собой меню с описанием операций по техкарте.

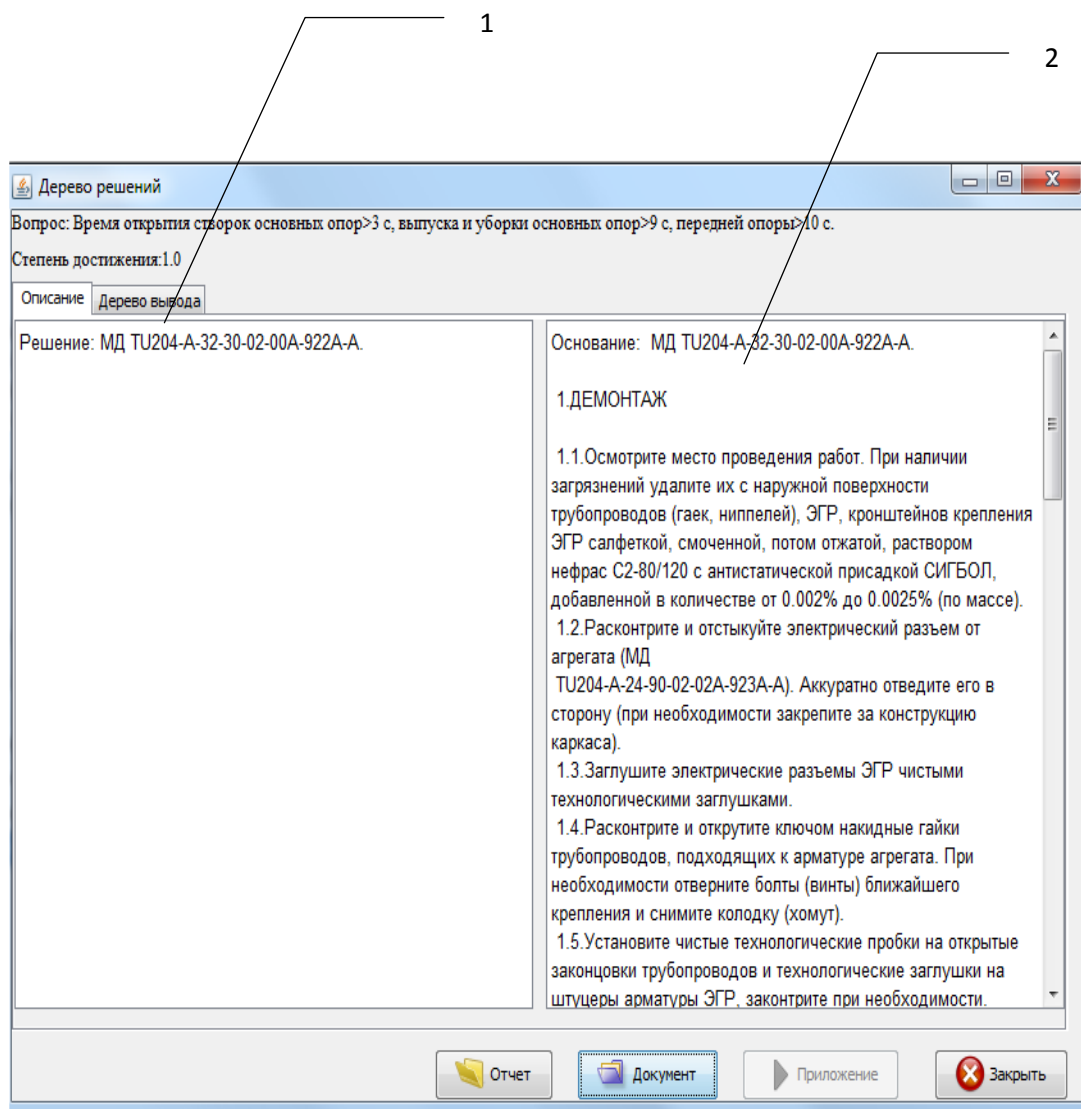


Рис. 3. Формирование решения и получение результатов

Необходимые схемы, дополняющие решения появляются после нажатия кнопки «Документ» (не показано).

Сравнение результатов при обнаружении неисправностей до и после использования ЭСАН «Когнитолог»

Затраты времени на:

- поиск руководства по техническому обслуживанию (РО) и неисправной системы, 0,5 часа;
- обращением к конкретному разделу и определение неисправности по технологической карте (ТК) в руководстве по технической эксплуатации (РЭ) поиска и устранения неисправностей, 0,5 часа;
- устранение неисправности (с учётом времени на демонтаж/монтаж деталей), 5 часов.

Общее время поиска неисправности составило 1 час, а общее время наладки (включая время на поиск и устранение неисправности) составило 6 часов.

Описание процесса поиска и устранения неисправности под руководством ЭСАН «Когнитолог».

Консультация с ЭСАН «Когнитолог» дает правильную локализацию неисправности приблизительно через 0,1 часа (без учета времени, потраченного на поиск технической документации).

Далее устранение неисправности (5 часов).

Общее время наладки с применением ЭСАН «Когнитолог» составило 5,1 часа.

Мероприятия по улучшению технического обслуживания с применением ЭСАН «Когнитолог»

В части расширения работ по проведению передовых работ по улучшению технологии технического обслуживания с применением ЭСАН «Когнитолог», предлагается её установить на планшетные ПК (КПК, смартфоны) специалистов для:

- более углубленного проведения анализа по устранению неисправностей;
- постоянного наращивания базы знаний по решению новых задач;
- упрощения и ускорения поиска неисправностей, благодаря алгоритмам (продукционным моделям знаний);
- обеспечения удобства ведения технической документации в электронном формате;
- владения информацией по всему парку самолётов, автоматически получая информацию и на другие ПК о

выполненных операциях по техкарте и отслеживая информацию о выполненных операциях (действиях).

После полётов работать с конкретными замечаниями от экипажа, лётного состава, бортовых систем.

В дальнейшем с помощью ЭСАН «Когнитолог» можно обеспечить прогнозирование состояния при эксплуатации ЛА, что позволит определить время наступления предстоящего отказа в бортовых системах (блоках, деталях, агрегатах, узлах, элементах, комплектующих изделиях), в которых наиболее вероятно его появление, число возможных отказов и их характер на основе статистических данных отказов.

Планируется дальнейшее его развитие. В перспективе реализация версии интерфейса с возможностью регистрации пользователей и получением дополнительных данных из их личного профиля, а также расширение функционала при оценке полученных решений для пользователей, имеющих статус эксперта.

Выводы

Использование ЭСАН «Когнитолог» позволит:

- снизить время вынужденного простоя ВС на 15-20%, благодаря логическим алгоритмам диагностирования и эвристическим знаниям экспертов;
- предотвратить ошибочные действия при принятии решений авиаспециалистами;
- повысить достоверность полученных результатов при локализации неисправностей;
- накопить, передать и использовать опыт ремонтных работ молодым специалистам (преемственность традиций);
- повысить качество подготовки технического персонала (авиаспециалистов) за счёт обучения от системы;
- вывести рекомендации пользователям даже при неполноте описания текущей ситуации (если пользователь не ответил на все вопросы системы).

Получено свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621315 на «Систему интеллектуальной поддержки авиаспециалистов для определения причин неисправностей в бортовых системах самолёта»; свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014660177 на «Систему анализа причин неисправностей в бортовых системах самолёта для авиаспециалистов».

Список литературы

1 Распоряжение Правительства РФ от 6 мая 2008 г. № 641-р Государственная программа обеспечения безопасности полётов воздушных судов гражданской авиации(утв. распоряжением Правительства РФ от 6 мая 2008 г. N 641-р): <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/93275/>.

2 Чекрыжев Н.В. Разработка методов и моделей повышения эффективности технического обслуживания летательных аппаратов и их систем, дисс. канд. техн. наук. – Самара (СГАУ), 2014. – 180 с.

3 Перфильев О.В., Рыжаков С.Г. Применение экспертной системы анализа неисправностей «Когнитолог» при техническом обслуживании систем и оборудования самолёта // Международный научный институт «educatio» III (10), 2015. – С. 125-130.

УДК 629.7.048.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ВЫТЯЖКИ ВОЗДУХА САНИТАРНЫХ И БЫТОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ САМОЛЁТА

Рыжаков С.Г.¹, Должиков В.А.², Костромитинов С.В., Танонин М.С.

1 – к.т.н., директор УФКБ ПАО «Туполев», г. Ульяновск

2 – зам.директора УФКБ ПАО «Туполев», г. Ульяновск

Введение

Процесс создания на борту современного пассажирского самолёта требуемых физиологических и климатических условий – очень сложная и ответственная задача.

Для удовлетворения физиологических потребностей человека, в любых условиях полёта, а также предоставления ему определённого уровня комфорта во время полёта, современные самолёты оснащаются комплексом санитарных и бытовых помещений (туалет, душ, кухня).

Характерными особенностями таких помещений являются неприятные запахи, избыточная влажность, теплота. Существуют различные способы борьбы с этими явлениями, наиболее действенным из которых является создание эффективной вентиляции.

Данная работа направлена на повышение эффективности системы вытяжки воздуха из туалетов и кухонь, результаты которой должны снизить негативные отзывы в адрес самолёта и, несомненно, повысить уровень его конкурентоспособности на рынке современной авиационной техники.

Краткая характеристика системы

Самолёт Ту-204-300 в своей штатной компоновке имеет 3 туалета и 2 кухни. Вентиляция данных помещений приточно-вытяжная. Подача воздуха производится через верхние приточные насадки. Приточный воздух поступает из системы распределения воздуха и подвергается окончательной обработке (нагреву до нужной температуры и очистке от пыли). Воздух из туалетов и кухонь принудительно отсасывается двумя вентиляторами.

Движение отработанного воздуха осуществляется по специальным каналам – воздуховодам, через которые воздух сбрасывается в зону выпускных клапанов САРД (системы автоматического регулирования давления), и затем через эти клапаны удаляется в атмосферу (рис. 1).

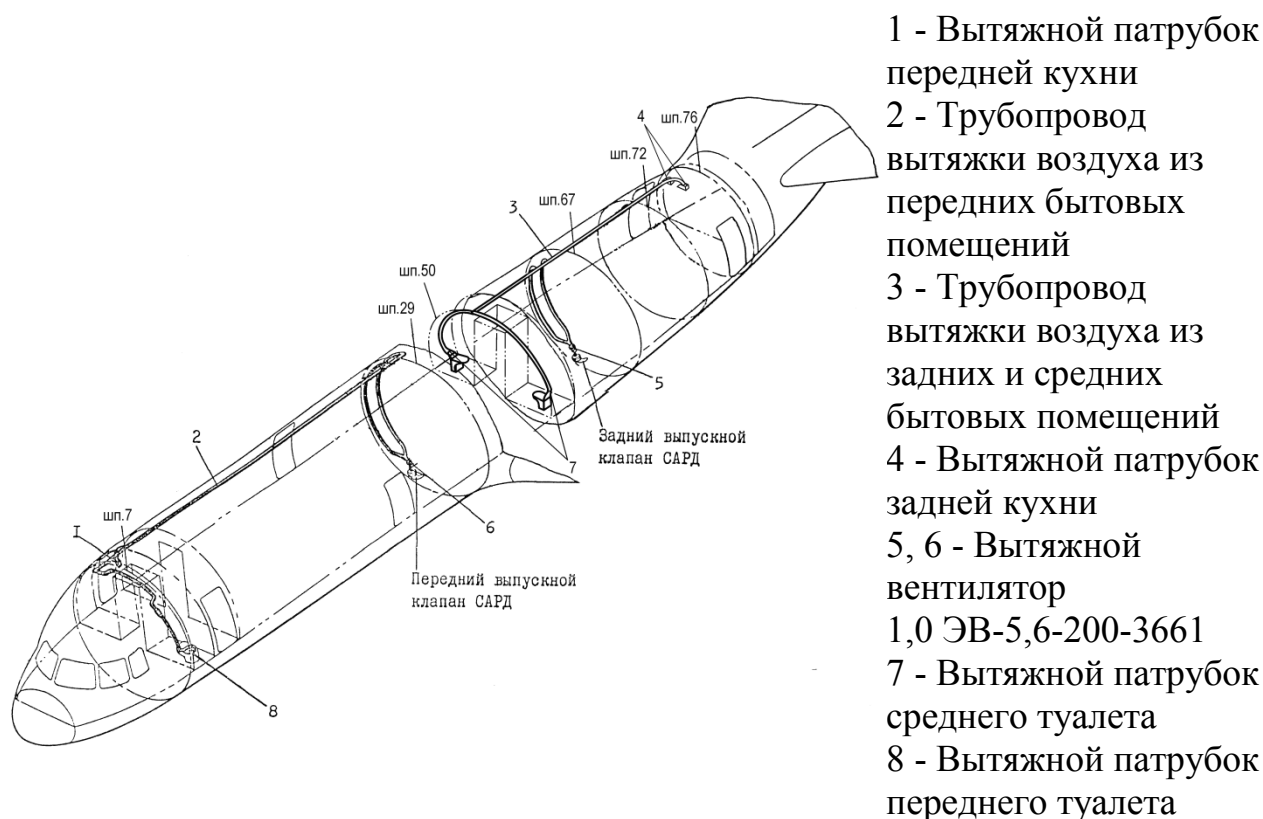


Рис. 1. Размещение системы вытяжной вентиляции самолёта Ту-204-300 (сер. №012)

Для эффективного устранения неприятных запахов в районе бытовых помещений необходимо было решить следующую задачу: максимально увеличить кратность воздухообмена, что должно уменьшить концентрацию вредных примесей в воздухе и ограничить распространение неприятных запахов из бытовых помещений в салоны.

Решение проблемы

Для более глубокого изучения и поиска оптимальных путей решения проблемы был проведён гидравлический расчёт системы [2, 4]. Результаты расчёта сведены в Таблицу №1.

С целью уточнения методики расчёта и получения экспериментальных данных по фактическим расходам воздуха, были составлены программы испытаний. Результаты испытаний, проведённых на двух самолётах, сведены в Таблицу №1

Таблица №1 Значения расходов воздуха для серийных самолётов Ту-204

	Расход воздуха, м ³ /ч			
	Расчёт		Испытания	
Серийный № маш.	012	035	012	035
Средний туалет (лев. борт)	48,92	44,53	60,95	53,04
Средний туалет (прав. борт)	61,84	53,64	74,16	52,55
Задний туалет	–	46,51	–	54,17
Задний вестибюль	128,69	108,71	127,27	96,05
Σ	239,47	253,39	262,38	255,81

Полученные результаты расчётов и испытаний существующей схемы вытяжки воздуха позволили сделать вывод о том, что:

результаты гидравлических расчётов имеют хорошую сходимость с результатами испытаний, а соответствующая методика расчёта может быть применена в дальнейшем для расчёта подобных систем.

Анализ расчётных и экспериментальных данных

Анализ проведённых расчётов и испытаний показал, что:

1. Расходы воздуха из бытовых помещений не соответствуют нормам.
2. Аэродинамическая характеристика вентилятора 1,0 ЭВ-5,6-200-3661 не соответствует характеристике сети воздухопроводов (рис. 2) [3].

(Фактические производительность, давление, потребляемая мощность и КПД вентилятора, работающего в сети, соответствуют точке пересечения R кривой полного давления вентилятора (4) с кривой характеристики этой сети (1), (2). Работа вентилятора в сети зависит не только от возможностей самого вентилятора, но также и от свойств сети, на которую он работает) [1].

Таким образом, основным путём решения проблемы повышения эффективности системы вытяжки воздуха является снижение гидравлического сопротивления трубопроводов, увеличение количества вытяжных патрубков в туалетах и выбор их оптимального размещения.

Разработка «новой» схемы системы

Руководствуясь выше перечисленными соображениями, а также анализом отечественных и зарубежных систем подобного рода были разработаны 22 варианта исполнения системы вытяжки, отличающихся друг от друга расположением вытяжных патрубков, диаметрами, количеством трубопроводов.

Далее были выполнены гидравлический расчёт и расчёт ожидаемой массы системы для каждого варианта конструкции.

Варианты оценивались по следующим критериям:

1. Расход воздуха, создаваемый вентилятором.
2. Масса системы.
3. Объём доработок существующей конструкции системы вытяжки либо туалета.

При этом скорость воздуха в воздуховодах не должна превышать 20 м/с. (скорость выбирается такой, чтобы вибрации и, главным образом, шум не превышали допустимых значений).

После сравнения и оценки полученных результатов был выбран вариант, наиболее полно отвечающий выше названным критериям, для которого:

1. Аэродинамическая характеристика сети (3) (рис. 2) соответствует характеристике вентилятора (4), т.е. рабочая точка R располагается на падающей стороне кривой полного давления вентилятора (вправо от максимального значения КПД) (рис. 2), а следовательно вентилятор работает в наиболее благоприятных для себя условиях и развивает наилучшие параметры как по давлению, так и по расходу воздуха [1].

2. Расходы воздуха соответствуют нормам.

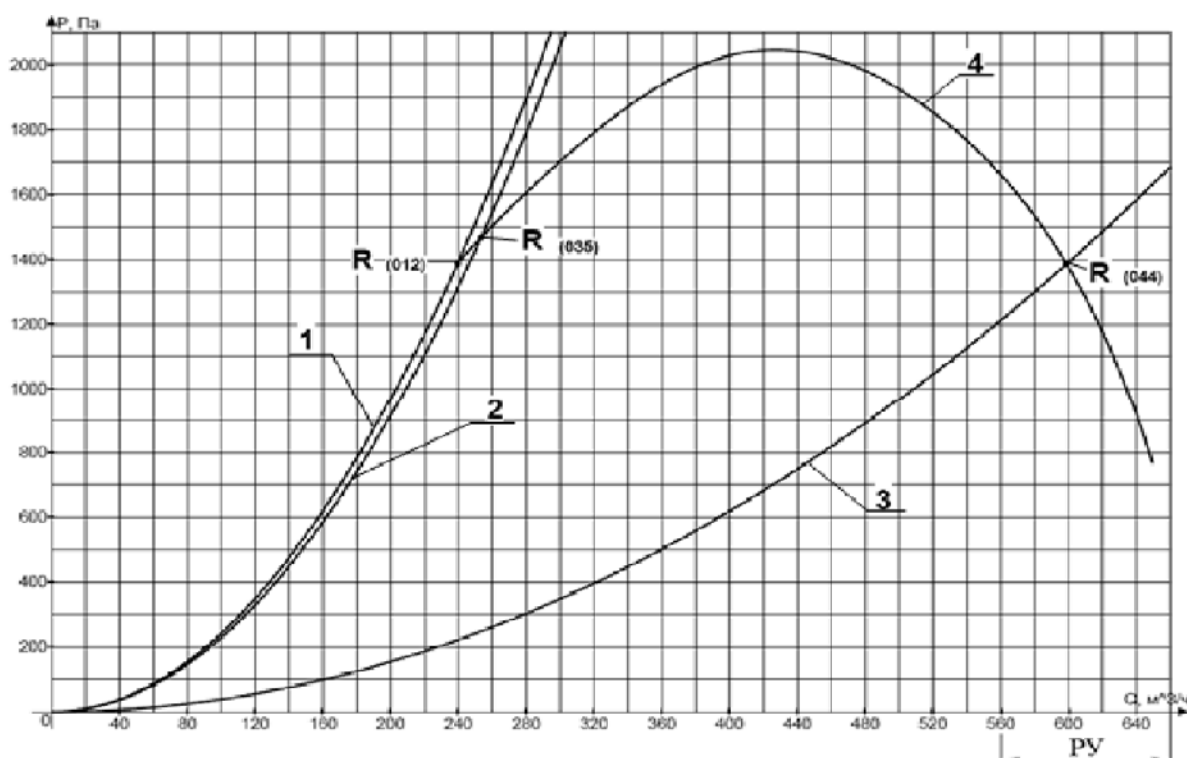


Рис. 2. Аэродинамические характеристики сети и вентилятора серийных самолётов Ту-204

где:

1 - Аэродинамическая характеристика сети для с-та. № 012;

2 - Аэродинамическая характеристика сети для с-та. № 035;

3 - Аэродинамическая характеристика сети для с-та. № 044;

4 - Кривая полного давления вентилятора;

R (012, 035, 044) – рабочие точки сети для с-тов. №№ 012, 035, 044.

РУ - Расчётные условия

По выбранному варианту была спроектирована новая система вытяжки (рис. 3) и выпущена конструкторская документация на её изготовление, установку и испытание для самолётов Ту-204-300 (№№ 044, 045). Для снижения массы системы и повышения эффективности были внедрены следующие усовершенствования:

- применены облегченные шланги фирмы SA BWT, обладающие низким гидравлическим сопротивлением;

- для снижения массы отказались от промежуточных соединительных проставок, применив длинные (до 6 м) шланги. Все тройники, проставки, коллекторы и т.д. были переведены с толщины стенок 1 мм на 0,8 мм;

- для снижения вероятности выпадения конденсата все алюминиевые элементы крепления воздухопроводов заменены на стеклотекстолитовые;

- для снижения уровней шума и вибрации вентилятор установлен на резиновые виброизоляторы;

- в туалетах установлены дополнительные вытяжные патрубки на потолке и над унитазом.

- отключена подача воздуха в туалет из системы распределения воздуха в салоны;

- в нижней части дверей туалетов установлены вентиляционные решётки (для обеспечения притока свежего воздуха в туалет).

При работе «новой» системы вытяжки, в туалете создаётся зона с небольшим пониженным давлением (разряжение), что гарантирует нераспространение запахов за пределы туалета. Свежий воздух из салона через вентиляционные решётки в дверях втекает в туалет, перехватывает запахи и удаляется через вытяжные решётки. Движение потоков воздуха в объёме туалета за счёт правильного расположения вытяжных патрубков организовано таким образом, что даже в момент открытия двери туалета вероятность распространения запахов в салон сведена к минимуму.

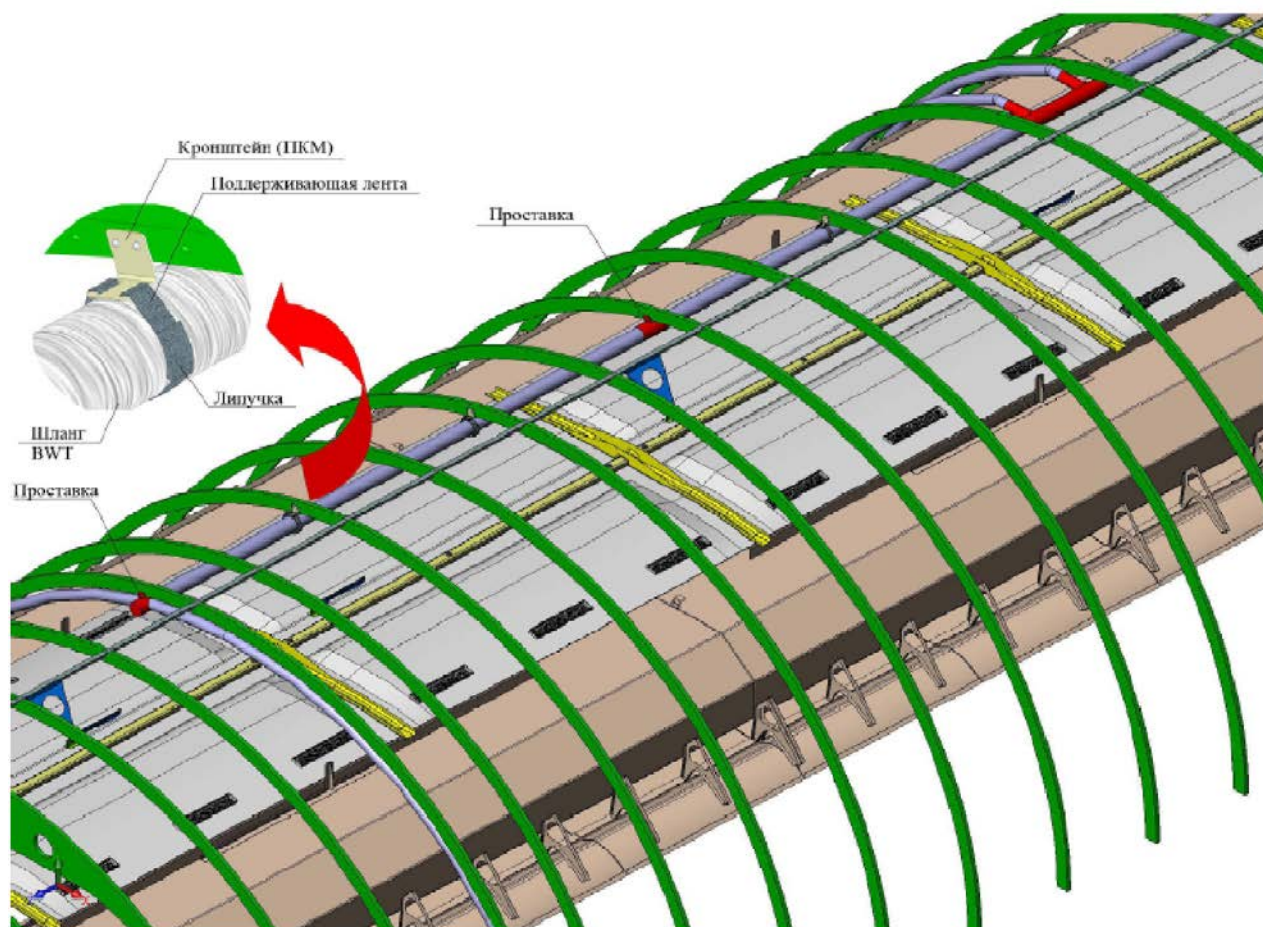


Рис. 3. Размещение системы вытяжной вентиляции самолёта Ту-204-300 (сер. №044)

Оценка эффективности «новой» системы

Полученные результаты расчёта и испытаний «новой» системы сведены в Таблицу № 2.

Таблица №2 Значения расходов воздуха для самолета Ту-204-300 (сер. 044)

	Расход воздуха, м ³ /ч	
	Расчёт	Испытания
Средний туалет (лев. борт)	207,92	202,11
Средний туалет (прав. борт)	232,23	245,55
Задний вестибюль	158,54	147,73
Σ	598,75	595,09

Заключение

В результате сравнения «старой» и «новой» системы вытяжки (см. Таблицы №1 и №2) получены следующие результаты:

1. Фактический расход воздуха увеличился:

- по туалетам $\approx$ в 3,3 раза и составил $\approx 220 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- общий расход $\approx$ в 2,2 раза и составил $\approx 600 \text{ м}^3/\text{ч}$.

2. Кратность воздухообмена, для туалетов составила $\approx 110 \text{ ч}^{-1}$.

Кроме того:

1. Масса системы уменьшилась на 40%.

2. Снизился уровень шума в пассажирском салоне в районе 25 ряда (зона установки вентилятора) $\approx$ на 5 дБА.

Рекомендации к применению на модификациях самолётов

Новая конструкция системы вытяжки воздуха из бытовых помещений, внедрённая на самолётах Ту-204-300 №№ 044, 045, позволила значительно увеличить эффективность удаления неприятных запахов, тем самым улучшив условия пребывания пассажиров на борту самолёта.

Список литературы

1. Вахвахов Г. Г. Работа вентиляторов в сети. – М.: Стройиздат, 1975. – 101 с.

2. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М.О. Штейнберга. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.: ил.

3. ОСТ В 16 0.539.090-82 «Электровентиляторы осевые высоконапорные 0,63ЭВ-1,4-80-3661, 0,8ЭВ-2,8-120-3661 и 1,0ЭВ-5,6-200-3661».

4. Юрьев А.С. Справочник по расчётам гидравлических и вентиляционных систем. – СПб., 2001. – 1154 с., ил.

УДК 669.295.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ23

Смирнова А.С.¹, Почивалов Ю.И.², Горбунов А.В.³

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск

1 - м.н.с. ЛФМиНМК ИФПМ СО РАН, аспирант НИТПУ ИФВТ, кафедра Материаловедения в машиностроении, г. Томск

2 - к.ф-м.н., в.н.с. ЛФМиНМК, г. Томск

3 - магистрант ТПУ ИФВТ ММС, г. Томск

Многообразие процессов, происходящих в зоне формирования сварного соединения, и сложность их контроля обуславливает большой разброс свойств образцов со сварными соединениями. Поэтому в последние годы огромное внимание уделяется после сварочным методам обработки сварных соединений. Среди методов, реально позволяющих повысить качество, надежность и ресурс сварных конструкций следует выделить наноструктурирование поверхностных слоев сварных соединений. Высокие технологические и ресурсные характеристики этого метода позволяют широко использовать его в производстве и ремонте сварных конструкций.

В настоящей работе исследовалась структура и механические свойства сварных соединений титанового сплава ВТ23, полученных методом лазерной сварки.

Материалы и методы исследования

Сплав ВТ23 разработан на основе теории комплексного легирования свариваемых титановых сплавов и является ($\alpha + \beta$) - титановым сплавом, таблица 1 [1]. Размер формирующихся внутри β -зерна фрагментов структуры α -фазы зависит от температуры $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения. Чем ниже температура превращения, тем меньшего размера фрагменты внутризеренной структуры. В сплавах с низкой температурой полиморфного превращения в первичной β -фазе формируется мелкозернистая структура, фрагменты которой препятствуют ветвлению трещины при ее развитии, уменьшаются работа разрушения и характеристики трещиностойкости [2-5].

Таблица 1. Химический состав титанового сплава ВТ23

Химический состав, %					
Fe	Cr	Mo	V	Ti	Al
0,4-0,8	0,8-1,4	1,5-2,5	4-5	84-89,3	4-6,3

Сварные соединения получали лазерной сваркой (скорость сварки $V_{\text{св}} \sim 54$ м/ч с применением излучения лазера разработки лаборатории лазерной оценки ИТПМ СО РАН на CO_2 мощностью лазерного излучения составляла до 8кВт. Пластины сплавов перед сваркой были зачищены от окисных пленок. Сварку заготовок сплава ВТ23 провели в двух структурных состояниях: в состоянии поставки и с предварительно наноструктурированной поверхностью под сварку методом ультразвуковой ударной обработки.

Для обработки поверхности сварных соединений применяется комплекс оборудования для ультразвуковой ударной обработки, который включает: генератор ИЛ4, предназначенный для выработки тока частотой 25 кГц мощностью 630 Вт и рабочий инструмент, преобразующий электрические колебания в механические и осуществляющий с помощью бойков обработку поверхности сварного соединения и околошовной зоны. Генератор ИЛ4 имеет ступенчатую регулировку мощности и позволяет получать 50, 75 и 100 % мощности от максимальной.

Ультразвуковое пластическое деформирование для получения наноструктурных состояний в поверхностном слое титанового сплава ВТ23 было проведено при максимальных значениях выходной мощности генератора.

Металлографические исследования в металле шва и зоны термического влияния выполнены на оптическом микроскопе Carl Zeiss Axiovert 25 CA. Механические испытания на растяжение проводили на универсальной испытательной машине Instron 5582.

Плоские образцы для механических испытаний на растяжение в виде двухсторонней лопатки с размерами рабочей части $50 \times 10 \times 2$ мм вырезали электроискровым способом.

Образцы сварного соединения титанового сплава ВТ23 с ультразвуковой ударной обработкой подвергались шлифованию, полированию и травлению в зоне сварного шва с помощью 10мл. 2% водного раствора HNO_3 , 10мл. 2% водного раствора HF.

Результаты исследования

Структура основного металла сплава ВТ23 типична для прокатанных $\alpha+\beta$ титановых сплавов и характеризуется ярко выраженной анизотропией структуры, рисунок 1. Зерна имеют форму сплюснутых пластин сильно вытянутых в направлении проката. Размер зерна в этом направлении составляет 25 – 50 мкм, внутри зерен наблюдается пластинчатая структура $\alpha+\beta$ фаз. Структура сварных соединений сплава ВТ23 существенно отличается от структуры основного материала. Прежде всего, в околошовной зоне и в зоне термического влияния происходит интенсивный рост зерна вследствие рекристаллизации. Зерна в сварном шве очень крупные, размером более 500 мкм, внутри зерен типичная пластинчатая структура $\alpha-\beta$ сплавов титана.

Как следует из рисунка, при лазерной сварке в сварном шве формируется очень неравновесная крупнозернистая структура. В структуре сварного соединения много крупных пор.

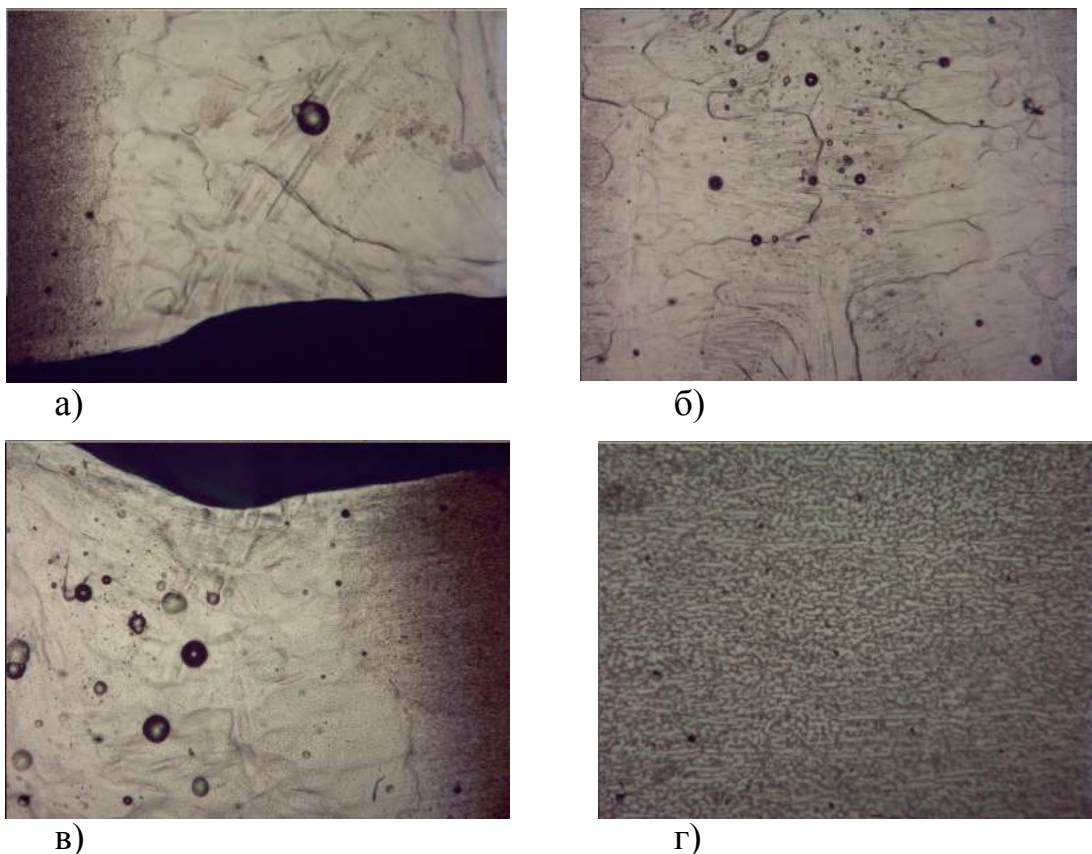


Рис. 1. Структура сварных соединений титанового сплава BT-23 (пластины в состоянии поставки): а, в) переходная зона; б) зона сварного шва; г) зона основного металла, $\times 100$

Результаты испытаний на кратковременную прочность и кривые растяжения образцов сварных соединений титанового сплава BT23, полученных лазерной сваркой пластин в состоянии поставки и пластин с предварительно наноструктурированием поверхностным слоем представлены на рисунке 2 и в таблице 2.

Таблица 2. Механические свойства сварных соединений сплава ВТ23, полученных лазерной сваркой

Режим обработки	Предел упругости σ_0 , МПа	Предел текучести $\sigma_{0.2}$, МПа	Предел прочности σ_B , МПа	Относительное удлинение, %
Состояние поставки	270,7	273,8	1119,9	9,2
Наноструктурирование поверхностного слоя пластины перед сваркой	326,0	329,7	1149,1	14,1

Диаграмма растяжения образца сварного соединения титанового сплава ВТ23 представлена на рисунке 2.

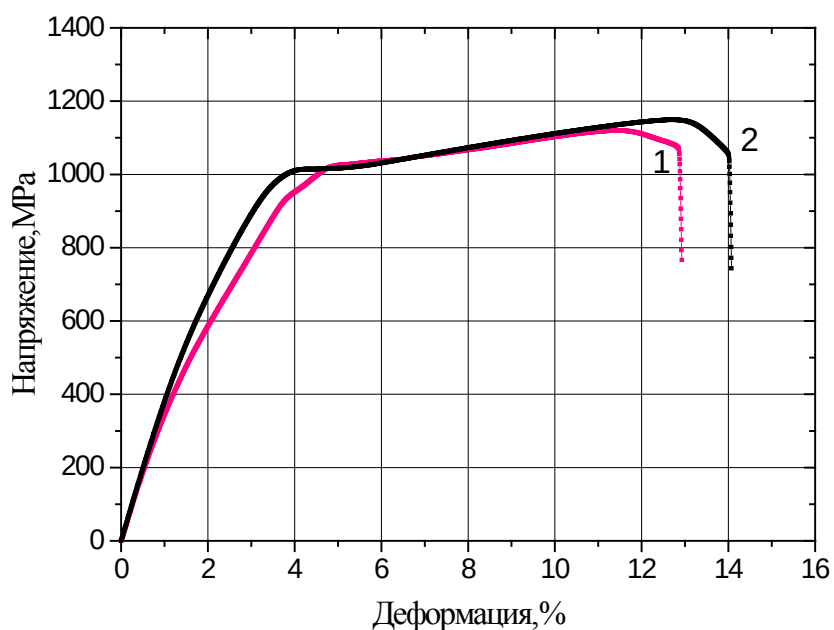


Рис. 2. Диаграммы растяжения сварных соединений сплава ВТ23 без предварительной обработки пластин перед сваркой (1) и предварительно наноструктурированных пластин (2)

Разрушение сварных соединений сплава ВТ23, полученных лазерной сваркой происходит по основному материалу как наноструктурированных пластин так и пластин без предварительной обработки, рисунок 3.



Рис. 3. Структура сварных соединений сплава ВТ23
(пластины в состоянии поставки)

Как следует из представленных данных, предварительное наноструктурирование поверхностного слоя свариваемых пластин, путем ультразвуковой ударной обработки, приводит к повышению прочности, пластичности и коэффициента упрочнения сварных соединений.

Список литературы

1. Вульф Б.К. Термическая обработка титановых сплавов. – М.: Металлургия, 1969. – 372 с.
2. Панин В.Е., Сергеев В.П., Панин А.В. Наноструктурирование поверхностных слоев и нанесение наноструктурных покрытий. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 286 с.
3. Панин В.Е., Сергеев В.П., Панин А.В., Почивалов Ю.И. Наноструктурирование поверхностных слоев и нанесение наноструктурных покрытий - эффективный способ упрочнения современных конструкционных и инструментальных материалов // ФММ. – 2007. – Т.104. – № 6. – С. 1-11.
4. Хорев А.И. Высокопрочный титановый сплав ВТ23 и его применение в перспективных сварных и паяных конструкциях // Сварочное производство. – 2008. – № 9. – 38 с.
5. Panin A.V., Klimenov V.A., Pochivalov Yu.I., Son A.A., Kazachenok M.S. The effect of ultrasonic treatment on mechanical behavior of titanium and steel specimens. Theoretical and Applied Fracture Mechanics 41, 1-3 (2004), p. 163-172.

УДК 621.981

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГНУТОЛИСТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Турундаев К.В.

К.т.н., инженер-технолог АО «Ульяновский НИАТ»

Важной проблемой при производстве изделий авиакосмической техники является изготовление профилей, обладающих высокими ресурсными и жесткостными характеристиками. Вопросы повышения ресурса и жесткости продольно – поперечного силового набора летательных аппаратов (ЛА) определяют применение гнутолистовых профилей, изготовленных из низкопластичных материалов, с радиусом по зонам сгиба, равным толщине листа. Применение гнутых из листа профилей позволяет увеличить ресурс до 60 тысяч часов, что в 2-3 раза выше, чем у прессованных.

Наиболее эффективным и прогрессивным способом изготовления таких профилей для ЛА является метод стесненного изгиба (СИ), разработанный **Г. В. Проскуряковым**, и его разновидность - метод интенсивного деформирования (МИД). Данные виды гибки (СИ, МИД) развиваются АО «Ульяновский НИАТ».

Для обеспечения процесса гибки применяется профилегибочное оборудование. Конструктивное развитие данного оборудования и его применение шло под конкретные методы, как-то СИ, МИД, традиционное профилирование (ТП).

Можно отметить, что во времена Советского Союза предусматривалось и практиковалось централизованное выделение крупных денежных средств на основные фонды предприятия: производственные здания, крупные профилегибочные линии и входящие в их состав станы и т.д.

В нынешней экономике действуют другие правила, и соответственно хотят иметь:

1. Минимальное вложение денежных средств в основные фонды, с обеспечением требуемых показателей качества. Отсюда минимальные габариты профилегибочных линий и соответственно малые площади производственных зданий.

2. Минимальное вложение денежных средств в оборотные фонды, требуемые на обеспечение выпуска продукции. Отсюда малое количество обслуживающего персонала, минимальные требования к его квалификации на обслуживание оборудования и выпуска продукции.

При сравнении по этим показателям метод СИ и МИД обладают явным преимуществом перед ТП. Это дало толчок в дальнейшем совершенствовании данных методов и оборудования для производства профилей в различных отраслях народного хозяйства.

В настоящий момент все конструктивно-технологические схемы станов проработаны, и исчерпаны возможности нахождения новых решений.

Дальнейшее развития оборудования (СИ, МИД) будет характеризоваться оптимизацией станов под выпускаемую номенклатуру профилей, количеством их в партии и т.д.

Для этого был разработан классификатор (рис.1), где стан разбит на 2 блока:

1. Задача первого блока (электропривод-1) состоит в получении крутящего момента. В состав первого блока входят: электродвигатель или мотор-редуктор (1.1); передача с гибкой связью (клиноременная) (1.2); редуктор (1.3); муфта или карданный вал (1.4); пульт управления (1.5) с “частотником” и динамическим тормозом.

2. Задача второго блока (профилегибочный агрегат-2) состоит в получении и распределении крутящего момента. В состав второго блока входят: раздаточная коробка; муфты или карданные валы; профилегибочные клетки.

Оптимизация первого блока заключается в выборе по экономическим показателям (наименьшая стоимость) совместной пары двигатель-редуктор, при заданных параметрах на выходе пары: число оборотов; крутящий момент.

Оптимизация второго блока заключается в подборе под производимую номенклатуру профилей необходимых параметров стана с минимальной стоимостью, и обеспечением при этом требуемого качества профилей.

Для удобства и наглядности, по дальнейшей работе, созданы классификаторы: по параметрам профилегибочного агрегата (табл.1); по параметрам изготавливаемых профилей (табл.2).

Алгоритм по оптимизации второго блока заключается в следующем. По каждому параметру профиля выбирается соответствующий ему диапазон (см.табл.2), характеризующий номенклатуру выпускаемых профилей на предприятии. Данному диапазону соответствуют подходящие варианты параметров профилегибочного агрегата (см.табл.1). Выпишем все подходящие варианты профилегибочного агрегата, по всем параметрам профилей. Далее подсчитаем количество совпадений по вариантам профилегибочного агрегата, и выберем те, где наибольшее их совпадение. Если получили несколько вариантов, с одинаковым количеством совпадений, то выбираем тот, где наибольший порядковый номер. Так как, варианты пронумерованы так, что при увеличении порядкового номера варианта происходит соответственно уменьшение стоимости оборудования.

Далее, разъясим параметры профилей, и их диапазоны (см.табл.2):

1. Параметр “толщина материала” играет важную роль в конструктивных особенностях стана, так как с увеличением толщины требуется увеличение прикладываемого крутящего момента, и соответственно увеличение жесткости и прочности всей конструкции стана.

Диапазоны толщин указаны для сталей группы 8,10,15, и соответственно при применении титановых или алюминиевых сплавов данные диапазоны должны корректироваться по соотношению σ_T стали и применяемых материалов.

2. Параметр “планируемый типаж профилей” играет важную роль в конструктивных особенностях стана, так как с увеличением сложности требуется приложение большего крутящего момента, а также возможно применение более сложных технологических схем. Для диапазона “простой” характерно малое количество зонгиба, простое сечение (уголок, швеллер и т.д.). Для диапазона “сложный” характерно большое количество зонгиба, сложное сечение (двойные толщины и т.д.). Для диапазона “авиационный” характерно малое количество зонгиба, простое сечение (уголок, швеллер и т.д.), но наличие локальных утолщений по зонамгиба.

3. Параметр “планируемая номенклатура профилей”. Чем больше разброс значений по геометрическим характеристикам профилей (высота, ширина, толщина), тем сложнее стан. Для диапазона “универсальный” характерно большие разбросы значений по геометрическим характеристикам профилей. Для диапазона “специализированный” характерно малые разбросы значений по геометрическим характеристикам профилей. Для диапазона “специальный” характерно одинаковые значения по высоте, возможен малый разброс по ширине и толщине профиля.

4. Параметр “частота смены оснастки” тесно взаимосвязан с возможным усложнением конструкции стана в зависимости от диапазона. Для установки одной оснастки, ее настройки с обеспечением получения качественных профилей требуется: порядка 4-6 часов для универсального профилегибочного стана; порядка 6-8 часов для специализированного профилегибочного стана; 8-24 часа для специального профилегибочного стана. При частой смене оснастки возможны большие простои во времени.

5. Параметр “требуемый допуск по длине профиля” тесно взаимосвязан с некоторыми особенностями конструкции стана. Так же, для диапазона “ $\pm 1\text{мм}$ ” характерно применение в блоке 1 “частотника” в пульте управления, а также планетарного редуктора. Для диапазона “ $\pm 1,0-2,0\text{мм}$ ” характерно применение в блоке 1 динамического тормоза.

6. Параметр “кривизна профиля” тесно взаимосвязан с возможным усложнением конструкции стана в зависимости от диапазона. Для диапазона “малая” требования по усложнению стана отсутствуют, так как с этим легко справляется вспомогательное оборудование – правильное устройство. Для диапазона “большая” характерно усложнение конструкции стана для применения специальных технологических схем (поднятие/опускания нижних валов на некоторых клетях и т.д.).

7. Параметр “первоначальное капиталовложение” тесно взаимосвязан с возможным усложнением конструкции стана в зависимости от диапазона. Чем сложнее конструкция, тем она дороже.

Для наглядности описания, проведем анализ нескольких станков, разработанных в АО «Ульяновский НИИТ».

Имеем следующие характеристики станка (рис.2): расположение раздаточной коробки отдельно от клетки (2.1.1); валы приводные нижний и верхний (2.2.1); передача крутящего момента в раздаточной коробке через зубчатое зацепление (2.3.2); подвижность вверх-вниз у нижнего и верхнего вала имеется (2.4.1); раздельная раздаточная коробка и клетки, а также передача крутящего момента через муфту (2.5.1).

Станок (рис.3) имеет следующие характеристики: расположение раздаточной коробки будет совмещенное с клетью (2.1.2); валы приводные нижний и верхний (2.2.1); передача крутящего момента в раздаточной коробке через зубчатое зацепление (2.3.2); подвижность вверх-вниз у нижнего и верхнего вала отсутствует (2.4.3).

Всё вышеизложенное позволяет заказчикам и производителям профилегибочного оборудования выбрать наиболее оптимальное решение по конструкции стана при изначально заданной номенклатуре производимых профилей, с обеспечением требуемых показателей качества. Соответственно это позволяет повысить показатели качества технологичности, экономичности.

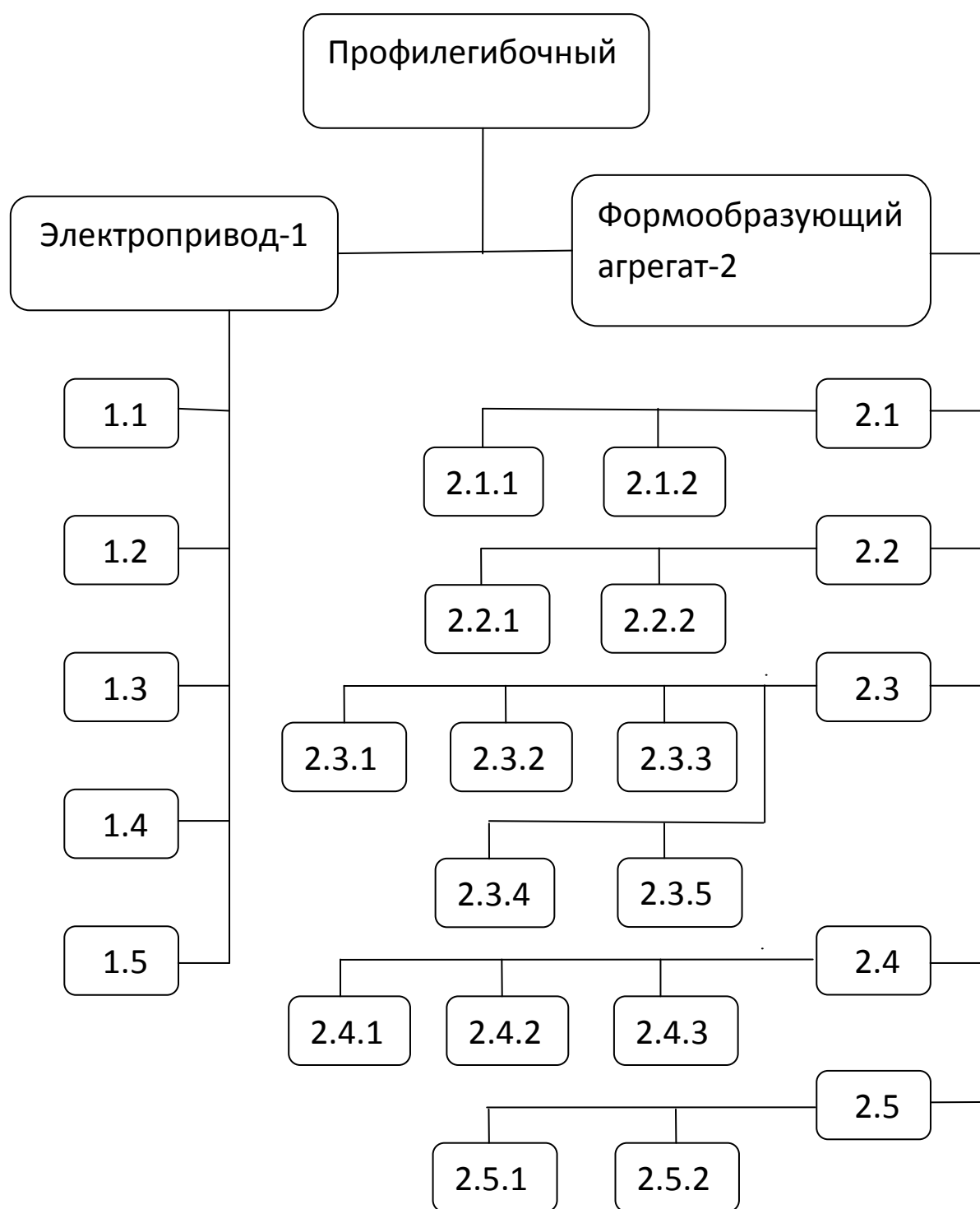


Рис. 1. Классификатор параметров профилегибочного оборудования

Таблица 1

Классификатор параметров профилирующего агрегата

№	Параметр оборудования	Варианты параметра оборудования
21.	Расположение раздаточной коробки	отдельно от клетки(2.1.1.) или совмещено(2.1.2.)
22.	Валы приводные/неприводные	Нижний вал приводной, а верхний приводной(2.2.1.) или неприводной(2.2.2.)
23.	Передача крутящего момента в раздаточной коробке, а также при совмещенности раздаточной коробки и клетки - от клетки к клетке	Через червячное(2.3.1.), зубчатое(2.3.2.), цепное(2.3.3.), зубчатоременное(2.3.4.), клиноременное(2.3.5.) зацепление
24.	Подвижность (вверх-вниз) валов	Нижний вал клетки подвижный (вверх-вниз), верхний вал подвижный(2.4.1.); нижний вал клетки неподвижный, верхний вал подвижный(2.4.2.); нижний вал клетки неподвижный, верхний вал неподвижный(2.4.3.)
25.	При раздельности раздаточной коробки и клетки, передача крутящего момента	Через муфту(2.5.1.), или карданный вал(2.5.2.)

Таблица 2

Классификатор параметров профиля

Параметр профиля	Диапазоны параметра профиля	Подходящие варианты по табл.1
Толщина материала (сталь), мм	0,4-0,7	Все
	0,7-2,0	2.1.(1,2), 2.2.(1,2), 2.3.(1,2,3), 2.4.(1,2,3), 2.5.(1,2)
	2,0-3,0	2.1.(1,2), 2.2.(1,2), 2.3.(1,2), 2.4.(1,2,3), 2.5.(1,2)
	3,0-4,0	2.1.(1,2), 2.2.(1,2), 2.3.2, 2.4.(1,2,3), 2.5.(1,2)
Планируемый типаж профилей	Простой	Все
	Сложный	2.1.(1,2), 2.2.1, 2.3.(1-5), 2.4.(1,2,3), 2.5.(1,2)
	Авиационный	2.1.1, 2.2.1, 2.3.2 2.4.1, 2.5.1
Планируемая номенклатура профилей	Универсальный	2.1.1, 2.2.1, 2.3.2, 2.4.1, 2.5.(1,2)
	Специализированный	2.1.(1,2), 2.2.(1,2), 2.3.(1,2), 2.4.(1,2), 2.5.(1,2)
	Специальный	Все
Частота смены оснастки, дни	1-3 (большая)	2.1.(1,2), 2.2.(1,2), 2.3.(1,2), 2.4.(1,2), 2.5.(1,2)
	4-7 (средняя)	2.1.(1,2), 2.2.(1,2), 2.3.(1,2), 2.4.(1,2), 2.5.(1,2)
	Более 8 (малая)	Все
Требуемый допуск по длине профиля, мм	$\pm 1,0$	2.1.(1,2), 2.2.(1,2), 2.3.1, 2.4.(1,2,3), 2.5.(1,2)
	$\pm(1,0-2,0)$	2.1.(1,2), 2.2.(1,2), 2.3.(1,2,4), 2.4.(1,2,3), 2.5.(1,2)
	$\pm(2,0-5,0)$	Все
Кривизна профиля	Малая	Все
	Большая	2.1.1, 2.2.1, 2.3.1, 2.4.1, 2.5.(1,2)
Первоначальные капиталовложения	Большие	2.1.1, 2.2.1, 2.3.(1,2), 2.4.(1,2), 2.5.1
	Малые	2.1.2, 2.2.2, 2.3.(3,4,5), 2.4.3, 2.5.2

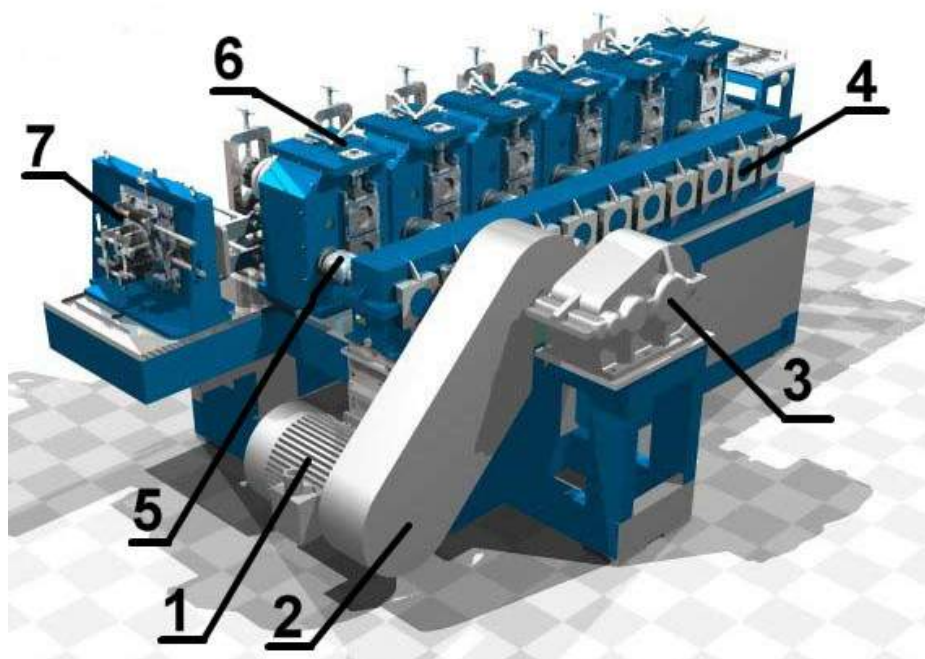


Рис. 2. Профилегибочный станок, разработанный в АО «Ульяновский НИАТ»:
1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – редуктор; 4 – раздаточная коробка;
5 – муфта; 6 – клеть; 7 – правильное устройство

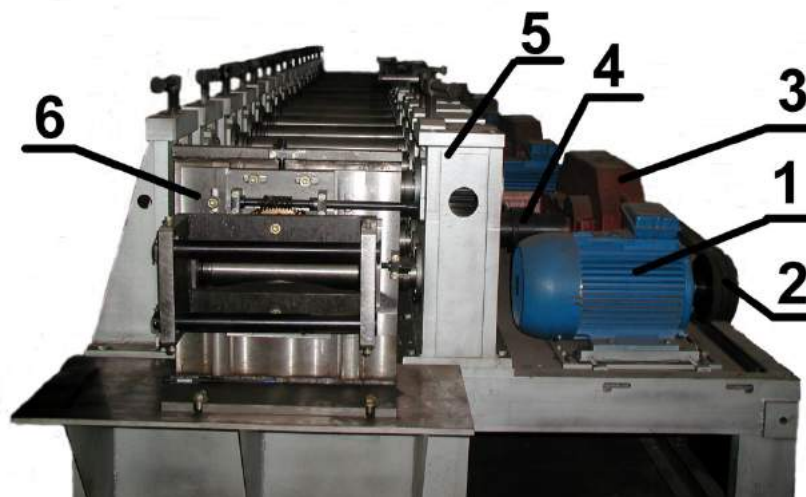


Рис. 3. Профилегибочный станок, разработанный в АО «Ульяновский НИАТ»:
1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – редуктор; 4 – муфта;
5 – совмещенная раздаточная коробка и клетки; 6 – правильное устройство

Список литературы

1. Мазур, И.И. Управление качеством [Текст] / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро. – 2-е изд. – М.: Омега-Л, 2005. – 400 с.
2. Проскуряков, Г.В. Стесненный изгиб [Текст] / Г.В. Проскуряков// Авиационная промышленность. – 1966. – №2. – С. 9-13.
3. Колганов, И.М. Процессы стесненного изгиба при различных методах формообразования [Текст] / И.М. Колганов. – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – 108 с.
4. Филимонов, В.И. Изготовление методом интенсивного деформирования профилей из листа и их внедрение в авиастроение [Текст]/ В.И. Филимонов, И.М. Колганов, В.А. Марковцев и др. // Авиационная промышленность. – 2001. – №4. – С. 21-23.
5. Тришевский, И.С. Производство гнутых профилей (оборудование и технология) [Текст] / Под общ. ред. И.С. Тришевского и др. – М.: Металлургия, 1982. – 384 с.

УДК 621.981

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА АСИММЕТРИИ ПРОФИЛЯ**Филимонов А.В.¹, Филимонов В.И.²***1 – к.т.н., технический директор ООО «Завод металлических изделий», г. Нижний Новгород**2 – д.т.н., профессор кафедры «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск*

При разработке технологии производства гнутых профилей, в частности, схем формообразования и схем правки важно знать степень асимметрии профиля, поскольку последняя влияет как на назначение углов подгибки элементов, так и на конструкцию правильной оснастки и настройку правильного устройства [1].

До настоящего времени в отечественной библиографии по профилированию вопросу о степени асимметрии профиля практически не уделялось внимания. Хотя его приложение могло бы иметь место как в технологии (определение числа переходов, разработка схем формообразования и правки), так и в конструировании с использованием гнутых профилей (задание внешних нагрузок, учёт перерезывающих и скручивающих сил). Возможные критерии для выработки указанного критерия асимметрии сведены в таблицу.

Наименование критерия	Описание критерия	Примечания
1. Пондо-геометрический, по базовому элементу	Относительное смещение центра тяжести сечения профиля относительно центра базового элемента	Конструктивный
2. Геометрический сравнительный	Отношение обобщённых геометрических параметров левой и правой части профиля (местных габаритов) без учёта базового элемента	Конструктивный
3. Пондометрический сравнительный (фактически, геометрический, по ширине развёртки слева и справа от базового элемента)	Отношение весовых параметров левой и правой части профиля за вычетом базового элемента	Конструктивный
4. Пондо-геометрический, сравнительный	Сравнение размерно-весовых параметров элементов или их совокупности (слева и справа)	Конструктивный
5. Зонный	По числу зон изгиба слева и справа от базового элемента	Конструктивный

Наименование критерия	Описание критерия	Примечания
6. Угловой	Отношение углов подгибки элементов слева и справа. Разновидности: - по углам подгибки несущих полок; - по фиктивным углам подгибки псевдоэлементов (определяются по двум точкам: зоне изгиба у базового элемента и торцу заготовки)	Конструктивный
7. Трансляционный (линейных перемещений)	При формообразовании, отношение перемещений торцов левой и правой части. Разновидности: - по горизонтальным проекциям; - по вертикальным проекциям; - по абсолютной величине перемещения	Технологический

Казалось бы, большинство из возможных подходов к определению коэффициента асимметрии базируется на конструктивных признаках, как это следует из вышеприведенной таблицы, однако в реальности в основе определения коэффициента асимметрии всё же лежит первичный технологический признак: расположение профиля в чистовой клетке профилировочного станка. Если, например, для несимметричного швеллера его расположение в чистовой клетке станка очевидно, то для более сложного профиля (например, «косяка» двери) возможны различные варианты расположения сечения (рис. 1). Дизайнер, разрабатывающий конструкцию сечения профиля, выберет, скорее всего, вариант двухмерного изображения сечения 2, 5 или 6 (см. рис. 1), где один из линейных элементов параллелен горизонтальной оси. Не исключён, однако, и вариант расположения профиля по отношению к горизонтали так, как он будет расположен в конструкции, но такое встречается не часто. Тот же профиль (рис. 1) используется в качестве горизонтального и вертикального элемента в конструкции двери, так что его положение в конструкции не даёт однозначного расположения на чертеже. Правильное расположение сечения профиля в чистовой клетке профилировочного станка уже в себе самом содержит приближение конфигурации несимметричного профиля к симметричному (положение 8 на рис. 1). Симметрия здесь определяется по

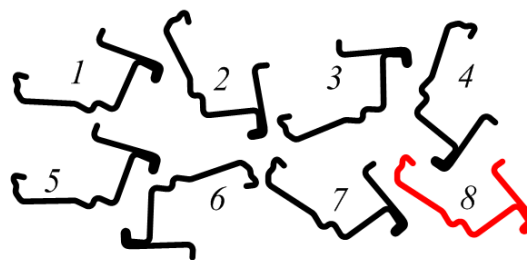


Рис. 1. Варианты расположения сечения профиля «косяк» на чертеже или в чистовой клетке станка

отношению к вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости рисунка. С точки зрения технолога, такая плоскость должна содержать в себе ось профилирования.

На рис. 2 приведены экспериментально отработанные конфигурации профилей с их правильным расположением в чистовой клетке станка и с указанием положения оси профилирования и базового элемента, а на рис. 3 представлены схемы формообразования указанных профилей [1].

Анализ рис. 3 показывает, что кроме зонного коэффициента асимметрии (п. 5 вышеприведенной таблицы), во всех других случаях коэффициент асимметрии, устанавливаемый для конфигурации каждого перехода, будет изменяться от перехода к переходу. Но даже и зонный коэффициент асимметрии для переходов может изменяться при формообразовании, если угловые зоны формируются не одновременно, а последовательно. Кроме того, зонный коэффициент, по-видимому, не вполне отражает факт асимметрии. Так, рис. 2а, в котором был бы удалён рифт левой части, мог бы дать коэффициент асимметрии, равный единице, т.е. симметричный профиль с технологической точки зрения. В принципе, дело обстоит именно так, если рассматривать перемещения торцов заготовки. Однако рифт добавляет три зоны изгиба в левую часть профиля, что делает его существенно асимметричным, что, с технологической точки зрения, неверно, поскольку формовка небольшого рифта практически не влияет ни на число переходов, ни на схему формообразования. Поэтому зонный коэффициент асимметрии следует отвергнуть.

Угловой коэффициент асимметрии также следует отвергнуть, поскольку для некоторых конфигураций сечений он может давать отрицательные значения (например, профили б) и в) на рис. 2).

Анализ коэффициентов асимметрии 1 – 4 из

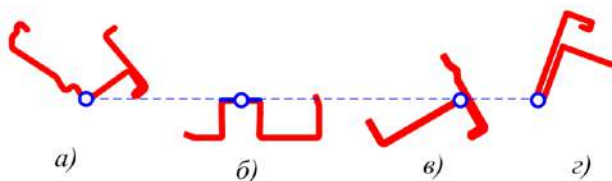


Рис. 2. Положения некоторых профилей в чистовой клетке стана с указанием базового элемента и оси профилирования

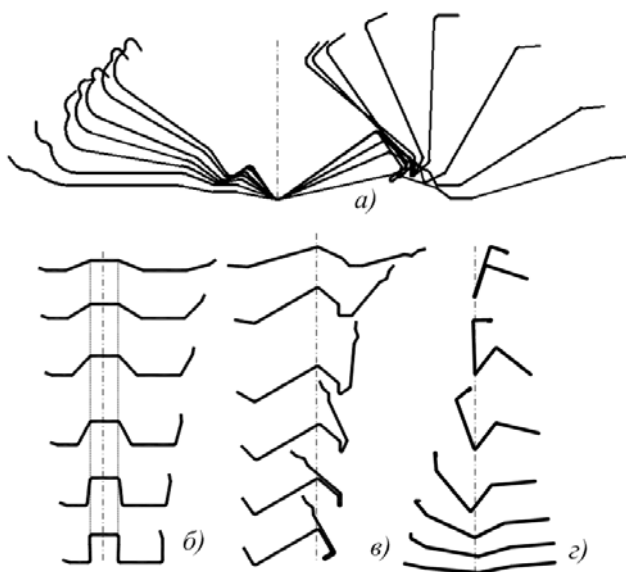


Рис. 3. Схемы формообразования профилей:
а – розеточная; б – г – линейные

вышеприведенной таблицы показывает, что они также малопригодны для оценки асимметрии профиля.

По-видимому, наиболее приемлемым мог бы быть трансляционный коэффициент асимметрии, который отражает соотношение перемещений левого и правого торца в процессе формообразования. При этом, использование проекций перемещений торцов заготовки только на одну из осей приводит к противоречию. Например, если взять проекции перемещения торцов заготовки на горизонтальную ось, то для неравнополочного швеллера обе проекции перемещения окажутся нулевыми.

В первом приближении можно более подробно рассмотреть соотношение абсолютных перемещений торцов заготовки (фактически, длин их траекторий). В некоторой степени именно соотношение перемещений торцов для гладких траекторий характеризует асимметрию профиля в технологическом смысле (рис. 4а,б). Однако для негладких траекторий (рис. 4в,г) более правильный подсчёт асимметрии можно было бы получить сложением перемещений по переходам (т.е. вычислением длины траекторий торцов). Изложенный подход мог бы быть приемлемым, но априори траектории торцов неизвестны, а известны лишь их перемещения, поэтому требуется вводить некоторые модификаторы (комбинации углов, размерные параметры и т.д), что может быть предметом последующих исследований.

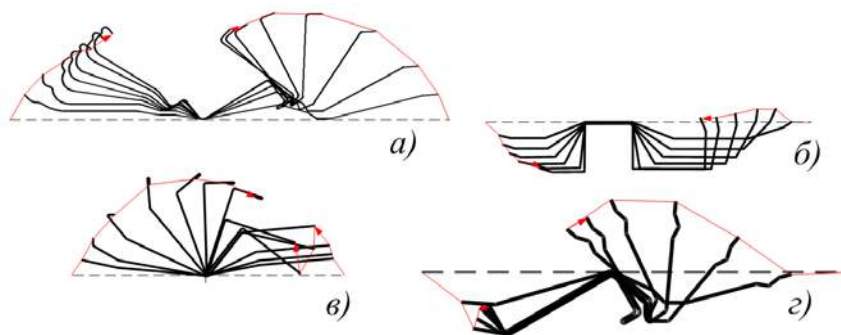


Рис. 4. Траектории торцов профиля в розеточных схемах

Библиографический список

1. Филимонов А.В., Филимонов С.В. Изготовление полузакрытых гнутых профилей в роликах методом интенсивного деформирования / Под ред. проф. В.И. Филимонова. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 206 с.

УДК 621.981

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПНЕВМОПРЕССА ДЛЯ ОТРЕЗКИ ПРОФИЛЕЙ

Филимонов А.В.¹, Филимонов В.И.²

1 – к.т.н., технический директор ООО «Завод металлических изделий», г. Нижний Новгород

2 – д.т.н., профессор кафедры «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

Увеличивающийся сегмент рынка оборудования, в частности, отрезных устройств, предназначенных для работы в составе автоматизированных линий, часто требует разработки указанных отрезных устройств для номенклатурно-ориентированных линий профилирования. Особенность состоит в том, что конфигурация таких устройств в значительной степени зависит от типоразмеров профилей, для изготовления которых предназначена линия, и от минимальной длины требуемых профильных деталей. С целью минимизации производственных затрат и обеспечения качества выпускаемой продукции целесообразно разрабатывать отрезные устройства под каждый тип автоматизированных линий профилирования [1], производительность которых составляет от 10 до 30 м/мин. Отрезка профиля обычно осуществляется в движении. Схема отрезки включает: 1. Зажим движущегося профиля в матрице, смонтированной на подвижной каретке штампа; 2. Отрезка профиля вертикальным движением ножа; 3. Возврат ножа в исходное положение; 4. Возврат подвижной каретки штампа в исходное положение. Привод ножа и каретки может быть гидравлическим или пневматическим. В редких случаях возврат каретки может быть механическим, за счёт использования грузов или пружин. При производстве тонкостенных полузакрытых профилей небольших сечений используют преимущественно пневматическую отрезку. Параметры отрезного устройства и штампа (диаметр и длина пневмоцилиндров, длина хода подвижной каретки и др.) должны обеспечивать отрезку профиля наибольшего сечения из заданной номенклатуры при требуемой минимальной длине детали с учётом скорости профилирования. Система управления отрезкой должна предусматривать отработку временных тактов, указанных в табл. 1. Если такты поз. 1, 4, 6, 8 и 10 в табл. 1 обусловлены параметрами схемы управления и первичных преобразователей, то время такта по другим позициям зависит от реализации отрезного устройства и штампа. При создании новых отрезных устройств их элементы и штампы подлежат расчёту и оптимизации, где в качестве исходных данных выступают типоразмер профиля, его материал, тактовое время каждого из основных движений при естественных ограничениях на размеры конструкции.

В качестве примера реализованной разработки на рис. 1 дана конструкция разработанного отрезного пневматического пресса [2] для

автоматизированной линии среднего типа, а также его пневматическая схема. В прессе используется штамп для разделительных операций [3], снабжённый направляющим устройством и передвижной кареткой с колёсами, содержащей связанные колонками верхнюю и нижнюю подвижные плиты, причём, колёса установлены в направляющие рельсы на верхней неподвижной плите, и на нижней неподвижной плите штампа, при этом на верхней подвижной плите передвижной каретки установлен пуансонодержатель с пуансоном, а на нижней подвижной плите передвижной каретки закреплён матрицедержатель с матрицей, причем передвижная каретка выполнена с возможностью горизонтального перемещения вперёд и с возможностью возврата в исходное положение посредством пневмоцилиндра, штамп снабжен электронным устройством, выполненным с возможностью синхронного перемещения ленточной заготовки и перемещающейся с передвижной кареткой матрицей со временем вырубания заготовки пуансоном и возврата его в исходное положение.

Таблица 1

Циклограмма работы отрезного устройства

Номер позиции	Время такта	Содержание такта отработки
1.	t_1	Проверка наличия признака конца предыдущего цикла (при первом включении присутствует по умолчанию), обработка сигнала на отрезку (от счётчика метража или концевого выключателя), включение цикла
2.	t_2	Зажим каретки
3.	t_3	Цикл движения каретки вперёд
4.	t_4	Проверка зажима и включение прямого хода ножа
5.	t_5	Прямой ход ножа
6.	t_6	Проверка конца прямого хода и включение обратного хода ножа
7.	t_7	Обратный ход ножа
8.	t_8	Проверка возврата ножа и включение обратного хода каретки
9.	t_9	Возврат каретки
10.	t_{10}	Обработка сигнала возврата каретки, выработка признака конца цикла
	$t_{\text{цикла}}$	$t_{\text{цикла}} = \text{сумма } t_1 - t_{10}; t_3 = t_4 + t_5 + t_6 + t_7$

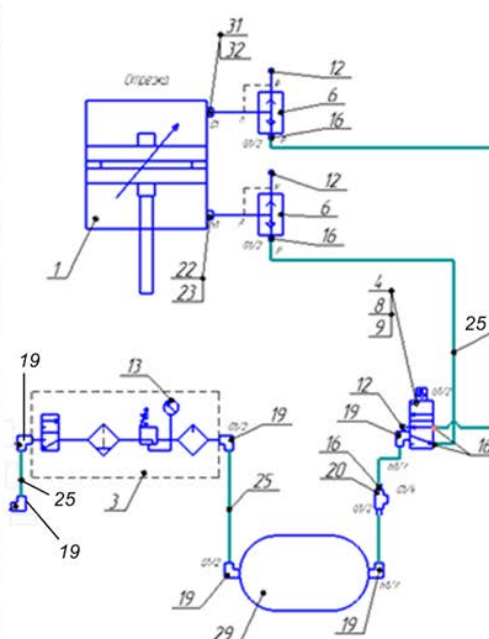
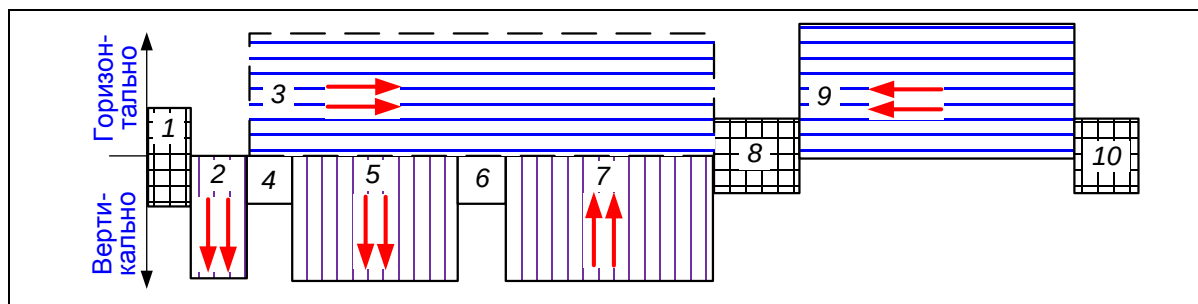


Рис. 1. Пневматический отрезной пресс в составе линии (слева) и принципиальная пневматическая схема отрезного пресса (справа)

В табл. 2 приведены стандартные комплектующие пневматической системы.

Таблица 2

Стандартные комплектующие пневматической системы отрезного пресса

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
1. Пневмоцилиндр	40M4L250A0080	13. Манометр	M043-P10
3. Блок подготовки воздуха	MC 202-E-25	16. Фитинг	S6510 14-1/2
4. Пневмораспределитель	452C-015-22	19. Фитинг	S6520 14-1/2
6. Клапан быстрого выхлопа	VSC 522-1/2	20 и 22. Фитинги	2601 17-1/8 и 2601 17-1/2

8. Разъем	122-800	23. Уплотнительное кольцо	2651 ½
9. Соленоид	U73	25. Трубка	TRN 14/12
12. Глушитель	2901 ½	29. Ресивер	R5320-35130

Табл. 3 даёт основные технические характеристики пневматического прессы для автоматической отрезки профиля.

Таблица 3

Технические характеристики пневматического прессы

Параметр и его размерность	Величина
Наибольшая ширина отрезаемой детали, мм	420
Наибольший ход пуансона, мм	80
Сила на пневмоцилиндре, кН	30,6
Скорость перемещения каретки, м/с	0,13
Наибольший ход каретки, мм	200
Рабочее давление в пневмосистеме, МПа	0,4-0,6
Максимальная толщина обрабатываемого материала, мм	2,5
Поперечная регулировка прессы, мм	60
Вертикальная регулировка прессы, мм	40
Габаритные размеры штампа:	
длина, мм	830
ширина, мм	942
высота, мм	1450
Масса станка, кг	420

Список литературы

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

2. Патент РФ на полезную модель № 49744, МПК7 В21 D 22/02. Пресс пневматический для разделительных операций / Литвинов В.А., Зарубин Д.П., Филимонов С.В., Лапшин В.И., Филимонов А.В. – Опубл. 10.12.2005. Бюл. № 34.

3. Патент РФ на полезную модель № 44553, МПК7 В21 D 22/02 Штампы для разделительных операций / Литвинов В.А., Зарубин П.И., Зарубин Д.П., Филимонов С.В., Лапшин В.И. – Опубл. 27.03.2005. Бюл. № 9.

УДК 621.981

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОФИЛЕЙ ОБРАМЛЕНИЯ ВОЗДУХОВОДОВ

Филимонов А.В.¹, Филимонов В.И.²

1 – к.т.н., технический директор ООО «Завод металлических изделий», г. Нижний Новгород

2 – д.т.н., профессор кафедры «Материаловедение и ОМД» УлГТУ, г. Ульяновск

Неуклонное расширение номенклатуры многоэлементных профилей сложной конфигурации, применяемых в промышленности и строительстве, требует совершенствования технологии производства таких профилей. Для мелкосерийного производства гнутых профилей целесообразно использовать метод интенсивного деформирования (МИД) [1], который имеет особенности по сравнению с традиционным профилированием: а) использование меньшего числа переходов; б) особые схемы формообразования; в) применение формующих роликов с замкнутым контуром; г) применение натяга кромок заготовки; д) совмещённая с формообразованием правка. Разработка технологии МИД предусматривает следующие этапы: расположение профиля в чистовой клетке, определение базового элемента и оси профилирования, расчёт числа переходов, разработка схемы формообразования, выбор оборудования, проектирование процесса, изготовление оснащения и его отладка, внедрение.

Цель работы – анализ этапов проектирования, завершающихся разработкой схемы формообразования профиля на примере трёх профилей обрамления воздуховодов (называемых «шинорейками»).

Первоначально (в 2007 году) осваивали профиль шинорейки размерами 29х24х7х0,7 мм, конфигурация которого подобна конфигурации профиля рис. 1б, за исключением «носки», который имел треугольный вид. Для производства этого профиля была принята схема, включающая 16 переходов с постепенным поворотом базового элемента, начиная с пятого перехода. Число переходов определяли экспертно, исходя из предшествующего опыта освоения многоэлементных профилей и используя все клетки профилировочного модульного станка СПУ-400К16-65 разработки и производства ООО «Спецтехнология» (г. Ульяновск). Отработка схемы формообразования потребовала пересмотра

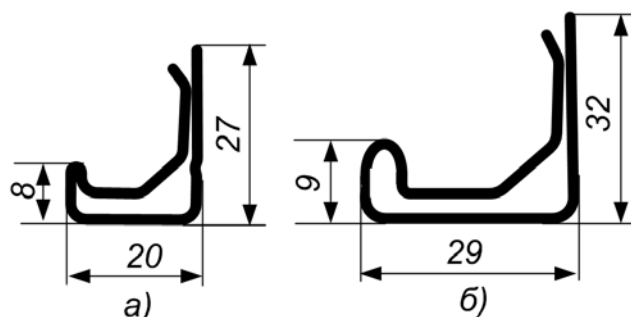


Рис. 1. Сечения профилей обрамления
воздуховодов:

а) – профиль 20×27×8×0,7мм;

б) – профиль 29×32×9×0,7 мм

11 из 16 пар роликов при проведении экспериментальных работ. В начальном варианте поворот базового элемента (нижняя горизонтальная часть) не производили, однако формовка элемента двойной толщины «носки» профиля и смыкание стенок потребовали поворота базового элемента в сторону меньшей по высоте полки на 20°. В результате выполненных работ был получен кондиционный профиль, качество которого соответствовало требованиям заказчика технологии.

В 2010 г. был освоен профиль шинорейки размером 20×27×8,5×0,7 мм (рис. 1а), отработка схемы формообразования которого также потребовала значительного объема экспериментальных работ по предотвращению дефектов профиля типа недоформовки сечения по высоте или ширине, излома или переформовки элемента двойной толщины («носок» профиля) и т.д. Схема формообразования потребовала 14 технологических переходов.

Устраняемые дефекты и виды работ по совершенствованию схемы формообразования даны в нижеприведенной таблице.

Изменение конфигурации рабочих калибров	Устраняемый дефект профиля
1. Проточка верхних роликов 10-14 переходов на 0,4 мм в зоне ЭДТ	Излом элемента двойной толщины (ЭДТ)
2. Замена 7, 8 и 9 переходов (с боковыми роликами) на горизонтальные пары роликов с закрытым контуром	Недоформовка профиля
3. Разведение рабочих валов на 7 – 13 переходах на 0,35 мм	Переформовка ЭДТ
4. Изготовление и применение межклетьевых проводок (вертикальных роликов) между переходами 11 и 12, а также 12 и 13	Устранение потери устойчивости полки размером 27 мм
5. Проточка верхних роликов 10 – 14 переходов на 1 мм на диаметр в зоне формовки подгибаемой горизонтальной полки	Увеличение внутреннего зазора между горизонтальными полками
6. Проточка верхних роликов 12 – 14 переходов на 2 мм в зоне поджатия в торец	Устранение смятия периферийного элемента размером 3,5 мм на меньшей по высоте полке

Обобщение опыта проектирования и отработки технологического оснащение позволило разработать более формализованную процедуру создания технологии аналогичных профилей. Во-первых, были разработаны рекомендации по расположению профиля в чистовом переходе и выбору базового элемента и оси профилирования [1]. При этом в качестве базового

элемента берут донную часть профиля (в отсутствие поворота сечения) или одну из зон изгиба (при повороте сечения в процессе формообразования), а подгибку элементов осуществляют сбалансированно с обеих сторон, что можно установить по соотношениям протяжённости зоны плавного перехода [1]. Во-вторых, при производстве полузакрытых многоэлементных профилей к заготовке имеется односторонний доступ, а формовка ряда элементов происходит по схеме изгиба консольной балки, что приводит к произвольной формовке зон изгиба и к потере устойчивости заготовки. С этой целью рекомендуется формовать на первом переходе технологические рифты по местам будущих зон изгиба для повышения жёсткости заготовки на промежуточных переходах и более четкого позиционирования указанных зон [1]. В-третьих, формализована процедура определения числа переходов для многоэлементных профилей [2], которая дается зависимостью:

$$N = \frac{\Delta}{L_m \cdot \beta} \cdot \sqrt{\frac{H}{W}} \cdot \sqrt{\frac{s}{k \cdot T}} \cdot \frac{\sigma_s}{\sigma_b} \cdot \sqrt[3]{n} \cdot \frac{2\xi}{\pi},$$

где Δ – смещение кромки или характерной угловой зоны в вертикальной плоскости, содержащей оси рабочих валов клетки последнего перехода, по отношению к соответствующим точкам плоской заготовки, мм; L_m – межклетье расстояние профилировочного станка, мм; β – предельный угол «стеснения» заготовки, рад.; H , W – высота и ширина сечения профиля соответственно, мм; s – приведённая толщина профиля; k – качество сечения профиля; T – допуск размера сечения для качества k , мм; σ_s , σ_b – пределы текучести и прочности материала заготовки, МПа; n – число зон изгиба профиля; ξ – суммарный угол подгибки полки, несущей периферийный элемент, рад.

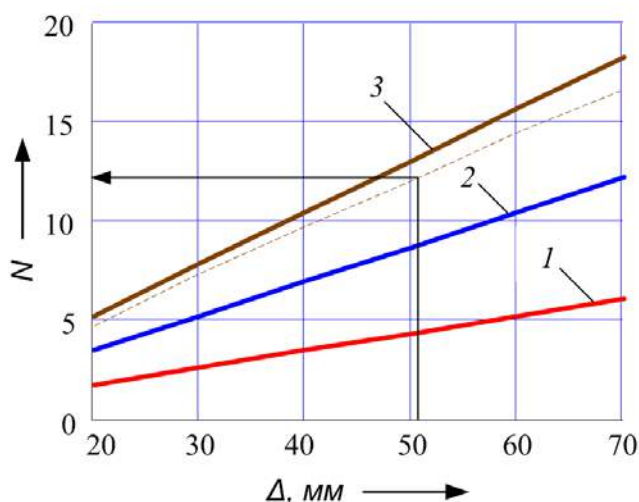


Рис. 2. Определение числа переходов для профиля 29×32×9×0,7 мм: 1-3 – $\xi = \pi/2$; π и $3\pi/2$ соответственно

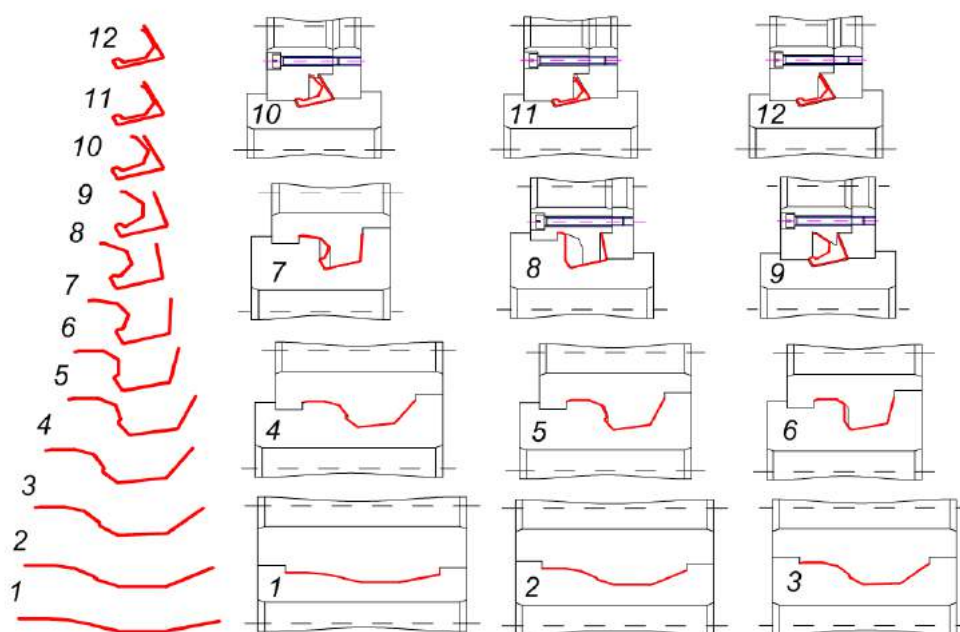


Рис. 3. Схема формовки и валковые калибры профиля 29×32×9×0,7 мм

Указанные исследования позволили создать технологию производства профиля обрамления воздуховода 29×32×9×0,7 мм для электротехнической промышленности (рис. 1б), для которого расчёт числа переходов даётся графической зависимостью рис. 2, а схема формообразования и схемы роликовых калибров приведены на рис. 3. Отработка технологии не потребовала изменения конструкции технологического оснащения как в предыдущих случаях. Качество профиля удовлетворяло требованиям к нему по чертежу.

Применение результатов исследований позволило снизить затраты проектирования и отработки оснастки на 42% по отношению к существовавшей процедуре создания технологий профилирования.

Список литературы

1. Лапин В.В., Филимонов С.В., Филимонов В.И. Предельное формообразование гнутых профилей на профилировочных станках // Вестник Концерна ПВО «Алмаз-Антей», 2015, № 2. – С. 41 – 48.
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.

УДК 621.981

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ АО «УЛЬЯНОВСКИЙ НИАТ»

Халилов Ф.Х.

Инженер АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск

Основой производственных процессов являются автоматизированные технологические процессы, которые обеспечивают высокую производительность и необходимое качество изготавливаемых изделий.

Целью проведения данной работы являются: повышение уровня производительности труда, повышение качества выпускаемой продукции, уменьшение количества брака, экономия трудовых ресурсов, повышение культуры производства, повышение конкурентоспособности предприятия.

Объектом исследования в данной работе была номенклатура профилей для автомобилей УАЗ: соединитель панели. Существующие способы не позволяли проводить автоматизацию процесса из-за нажатия концевого упора и остановки станка и ручного снятия детали со стола. Это увеличивает время изготовления профиля.

Одним из способов увеличения производительности является автоматизация процесса, путем применения механического упора и сбрасывающего механизма позволяющие без остановки станка производить рубку детали и сбрасывать ее в контейнер. При этом этот процесс происходит без участия человека.

Способом достижения автоматизации является разработка и установка платформы с упором и сбрасывающим механизмом на пресс пневматический (рис. 1).

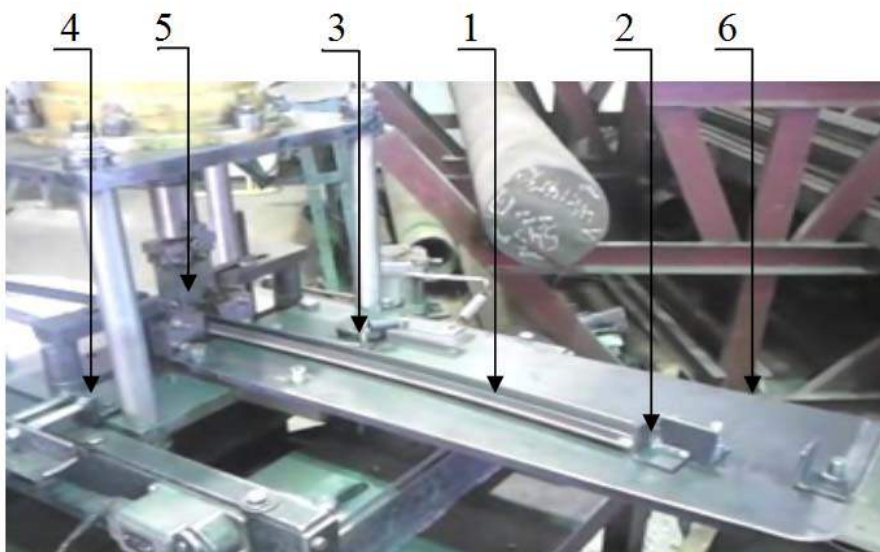


Рис 1. Пресс пневматический: 1 – профиль, 2 – упор, 3 – сбрасывающий механизм, 4 – каретка, 5 – штамп отрубной, 6 – платформа

Данная установка показана на рис. 1 она состоит из штампа отрубного (5) который установлен на пресс пневматический, на данный пресс так же установлена платформа (6) на которой находится упор (2) и сбрасывающий механизм (3).

Процесс проката профиля проводится на стане ГПС – 350М6, при движении профиль 1 достигает упор 2 (выставленный в нужной точке для достижения необходимого размера), тем самым толкает каретку 4, которая в свою очередь наезжает на концевик подающий сигнал на штамп отрубной 5, после отрубки срабатывает сбрасывающий механизм 3 отталкивающий профиль с упора, после чего каретка возвращается в исходное положение и процесс повторяется заново.

Все это позволяет значительно ускорить процесс изготовления профиля, снизить количество брака вследствие чего экономический эффект составляет за счет экономии металла около 40000 рублей в год, а так же значительно снижена производственная нагрузка по дополнительным операциям отрубки профиля.

Одним из недостатков применения технологии рубки ножом является отход. В настоящее время производится разработка штампа со сдвигом матрицы, который позволяет полностью исключить отход во время рубки детали.

В результате проделанной работы данная технология успешно используется на производстве в АО «Ульяновский НИАТ».

УДК 629.735.33

**ТИПОВЫЕ ДЕФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В ПРОЦЕССЕ
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ В АВИАЦИОННЫХ
КОНСТРУКЦИЯХ, СОСТОЯЩИХ ИЗ КМУ И
ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Чайников К.К.

*Инженер-конструктор, филиал ПАО «Корпорация «Иркут» в г. Ульяновск
432072, г. Ульяновск, пр. Антонова, 1*

В современной авиационной технике широко применяются конструкции, содержащие смешанные пакеты КМУ-металл (КМУ-Ti, КМУ-Al, КМУ-сталь и т.п.). Применение таких конструкций обеспечивает большую, чем у цельнометаллических конструкций, весовую отдачу летательного аппарата, ввиду высокой удельной прочности.

При сборке узлов и агрегатов летательного аппарата, состоящих из подобных конструкций, применяется специальное оборудование - сверлильные машины с автоматической подачей режущего инструмента (СМАП), а так же промышленные роботы. Разделка отверстий в смешанных пакетах, состоящих из разнородных материалов – достаточно сложный процесс. Это связано с тем, что сверление металла и углепластика производится с разными режимами.

Дефекты при разделке отверстий возникают, в основном, при входе и выходе режущего инструмента (РИ) из компонентов пакета. Наиболее характерный дефект для углепластика – деламинация, т.е. расслоение материала (см. рисунок 1).



Рис. 1. Расслоения в местах выхода режущего инструмента

Деламинация возникает, когда режущий инструмент проходит через КМУ при сравнительно большой подаче и малых оборотах – происходит не прорезка слоев углепластика, а их продавливание. Осевая сила резания, при этом, достигает критического значения, равного величине силы прочностных связей волокон обрабатываемого материала. Расслоения зарождаются в матрице и затем распространяется в плоскости, перпендикулярной к оси сверла.

На рисунке 2 приведена «раскадровка», процесса выхода режущего инструмента из КМУ, снятого на высокоскоростную камеру. Как видно из рисунка - последний слой углепластика подрезается не полностью и под воздействием усилия инструмента начинает отслаиваться. Имеют место и случаи образования бахромы на кромке отверстия в КМУ (см. рисунок 3), при которых не осуществляется полная подрезка слоев КМУ.

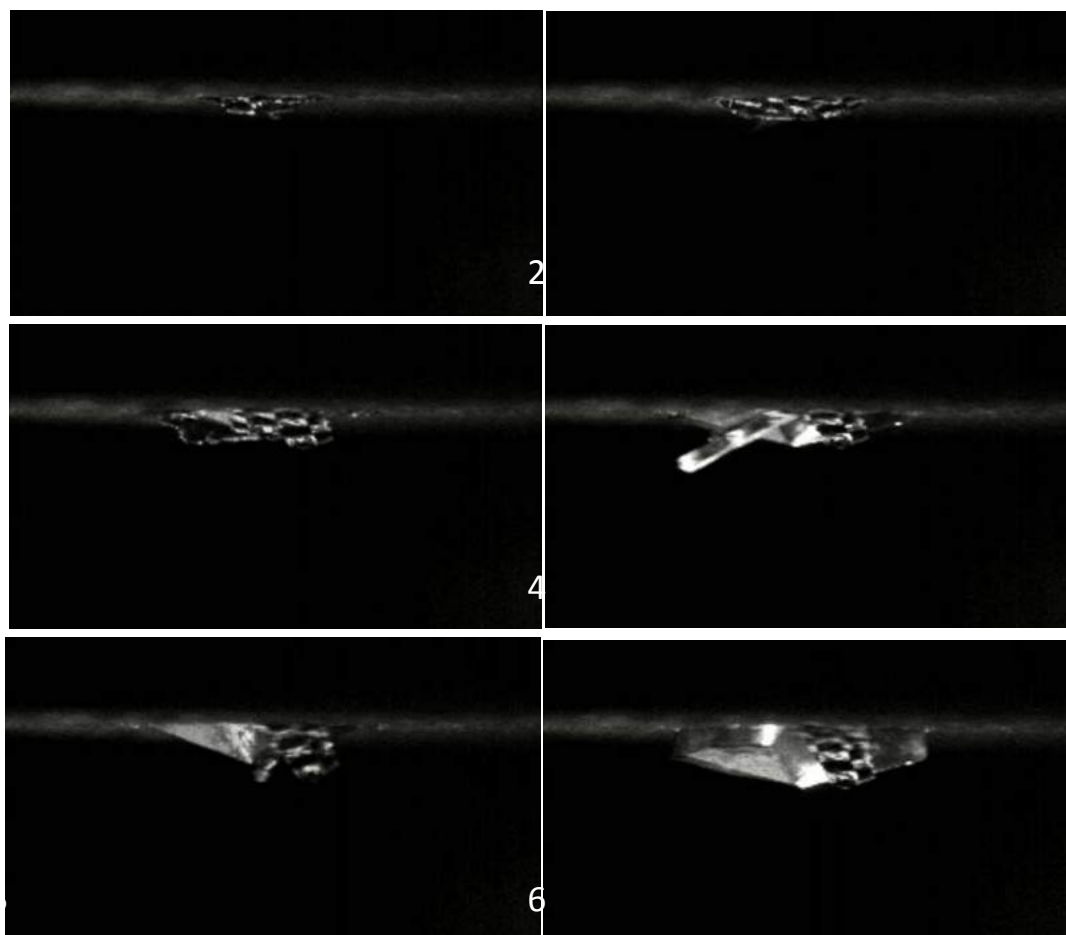


Рис. 2. Процесс выхода режущего инструмента из КМУ

Основными путями уменьшения вероятности возникновения расслоений и их величины при обработке отверстий являются:

- применение новых инструментальных материалов и покрытий;
- оптимизация геометрии режущей части режущего инструмента;

- разработка специальных конструкций режущего инструмента (например, с подрезающими кромками, ступенчатых);
- оптимизация режимов резания (применение адаптивного управления величиной подачи);
- применение поджимных втулок (подложек), где это возможно.

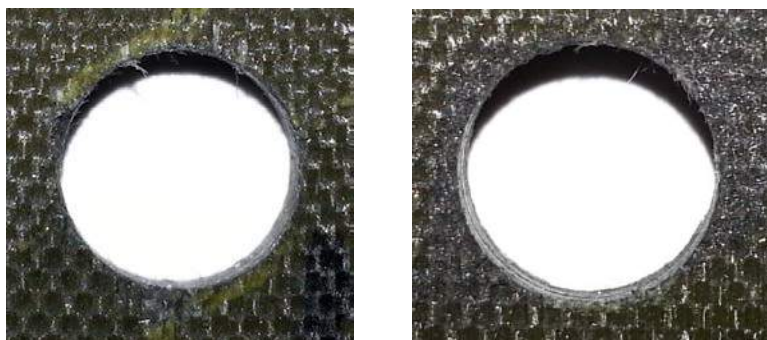


Рис. 3. Бахрома на кромке отверстий в углепластике

Кроме того, при больших оборотах режущего инструмента, или при выходе его из металла, в разогретом состоянии, при последующей разделке отверстия в КМУ, связующее начинает плавиться, что приводит к появлению буртика на кромке отверстия (см. рис. 4).

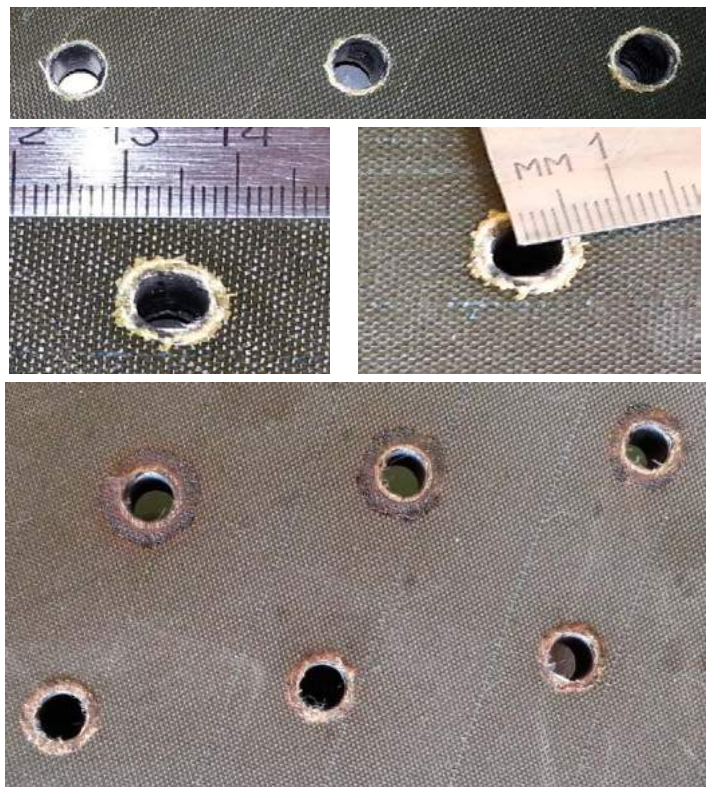


Рис. 4. Расплавление связующего

Буртик на кромке отверстия образуется так же и при разделке отверстия в металле, который режущий инструмент начинает вытягивать из отверстия. Особенно сильно это проявляется при затуплении сверла – увеличивается площадь контакта передней кромки с материалом. Для алюминия (рисунки 5а, 6а) характерен ровный и гладкий буртик, ввиду большей, чем у титана пластичности.

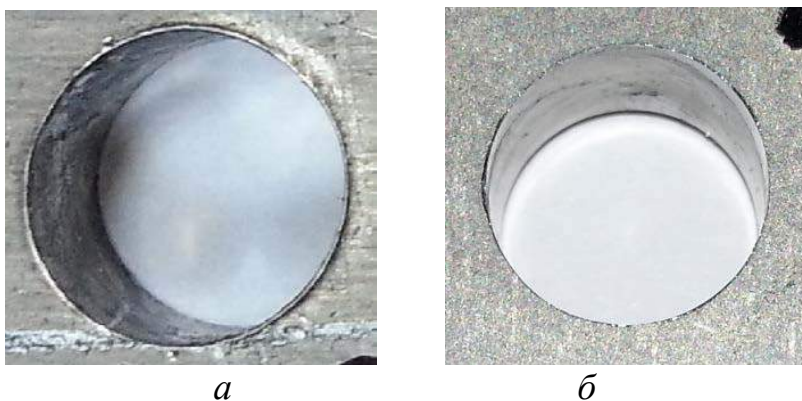


Рис. 5. Буртик, образующийся на кромке отверстия на входе в металл:
а – в алюминии; *б* – в титане

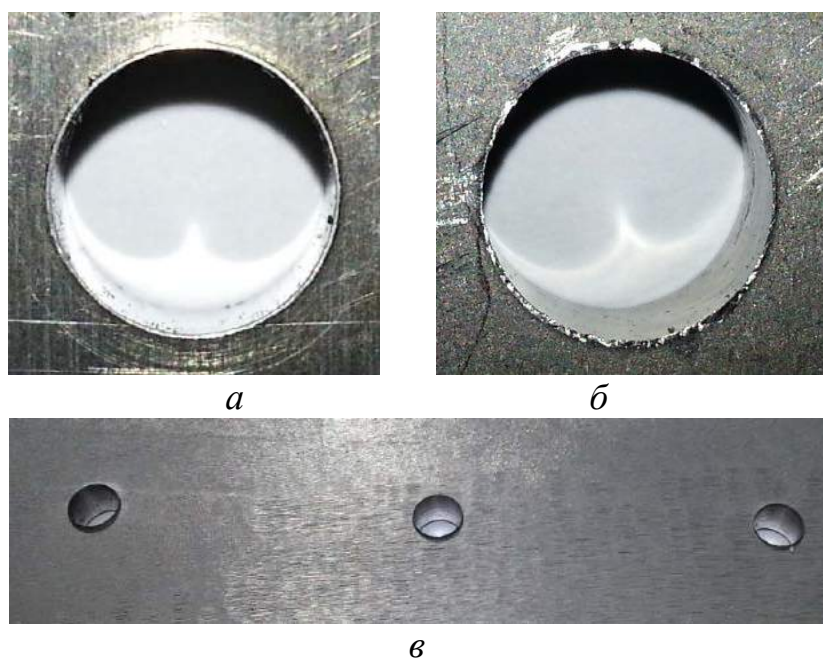


Рис. 6. Буртик на кромке отверстия на выходе из металла:
а – из алюминия; *б, в* – из титана

При отсутствии надлежащего охлаждения (к примеру, лишь при воздушном охлаждении режущего инструмента), при разделке отверстия в металле данный дефект проявляется еще сильнее (см. рисунок 7), так же при этом геометрические параметры отверстия (рисунок 7 б, в), не соответствуют предъявляемым требованиям (H7, Ra 1,6).

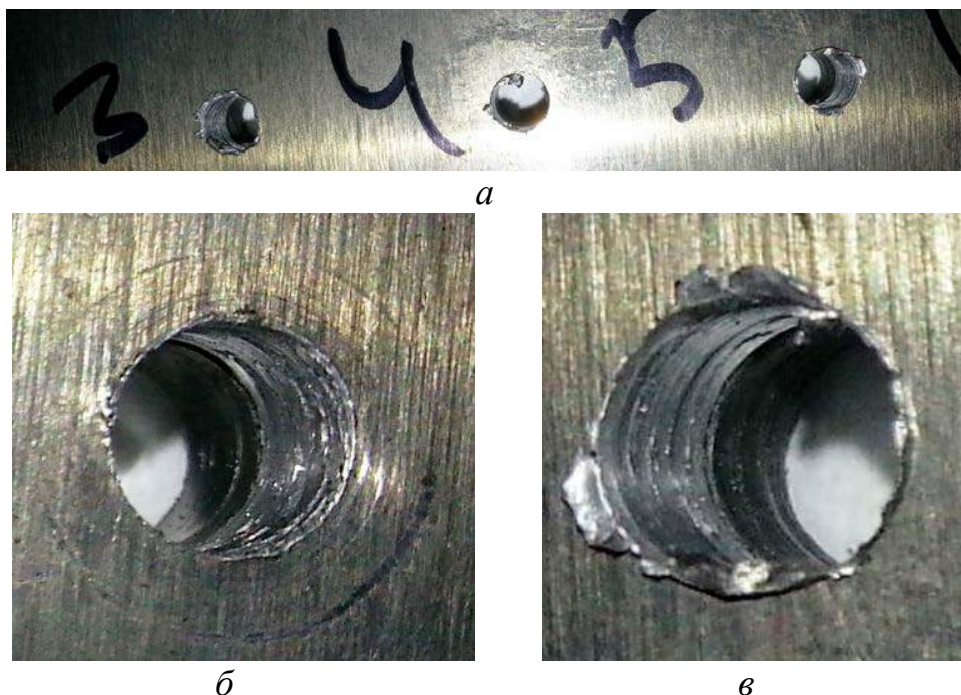


Рис. 7. Дефекты при разделке металла без охлаждения режущего инструмента; *а* – ряд отверстий в металлической пластине; *б* – кромка и внутренняя поверхность отверстия на входе в металл; *в* – кромка и внутренняя поверхность отверстия на выходе из металла

Еще один из типовых дефектов – замасливание КМУ смазочно-охлаждающей жидкостью, попадающей на него в процессе разделки отверстия в металле. Пример такого дефекта приведен на рисунке 8.



Рис. 8. Следы смазочно-охлаждающей жидкости на детали из углепластика

Одни из наиболее сложных, для подбора режимов резания – трехслойные пакеты металл-КМУ-металл. На рисунке 9 приведены примеры таких пакетов

— типовые места в конструкции лонжерона хвостового оперения современного пассажирского самолета.

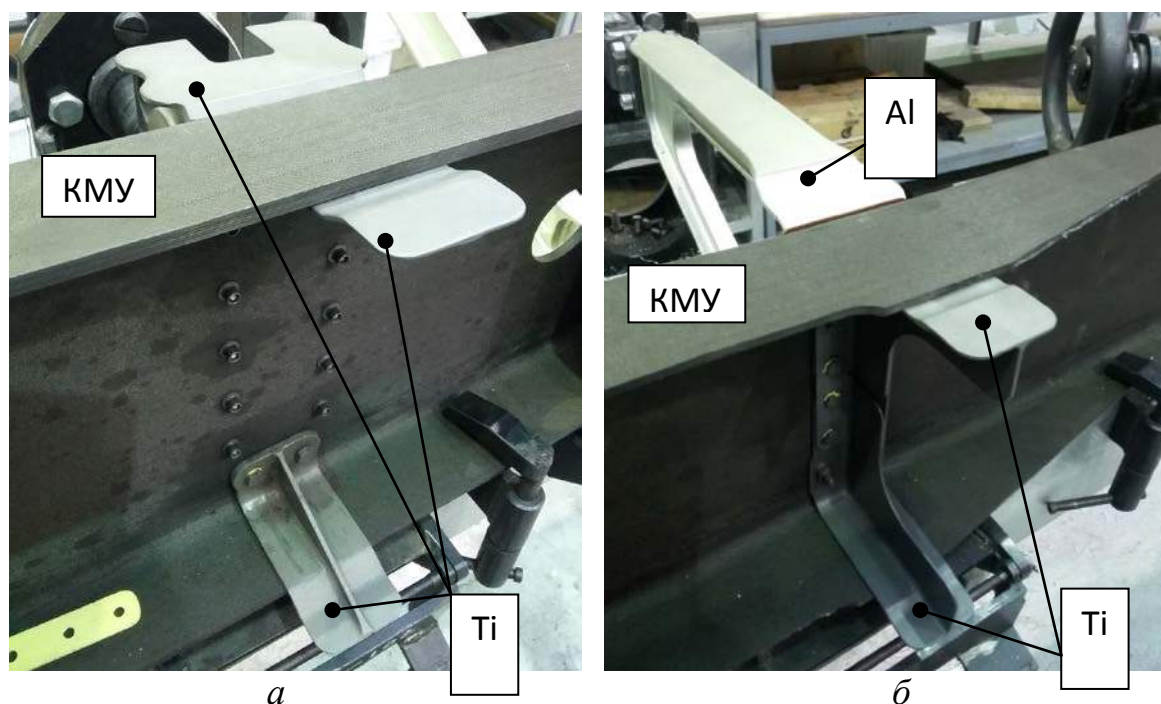


Рис. 9. *а* – пакет Ti-KMU-Ti; *б* – пакет Ti-KMU-Al

Разделка отверстий в смешанных пакетах при помощи ручного инструмента, дает невысокое качество отверстий, что ведет к браку при сборке, кроме того, возможно повреждение самих деталей (например, деламинация в углепластике). При этом производительность весьма низкая. Разделка отверстий при помощи СМАП позволяет оптимизировать режимы резания и подачи смазывающе-охлаждающей жидкости, повышая качество получаемых отверстий, положительно влияющих на точность сборки, и сводя к минимуму риск повреждения конструкции.

Немаловажным фактором при производстве остается стоимость оборудования. Основными материалами, из которых изготавливают режущий инструмент являются, преимущественно, твердый сплав и сверхтвёрдые инструментальные материалы на основе алмаза. Инструмент из быстрорежущей стали имеет наименьшую стоимость, но характеризуется наименьшей стойкостью при обработке КМУ.

Режущий инструмент из поликристаллического алмаза (PCD) обладает наибольшим значением стойкости при разделке отверстий в титане и углепластике, однако его стоимость значительно выше стоимости инструмента, изготовленного из быстрорежущей стали и твердого сплава (см. диаграмму на рисунке 11). Так же, режущий инструмент из этого материала не применим в пакетах КМУ-сталь по причине его низкой стойкости при разделке отверстий в стали. Наиболее оптимальным инструментом по

соотношению цена/стойкость является режущий инструмент, изготовленный из твердых сплавов.

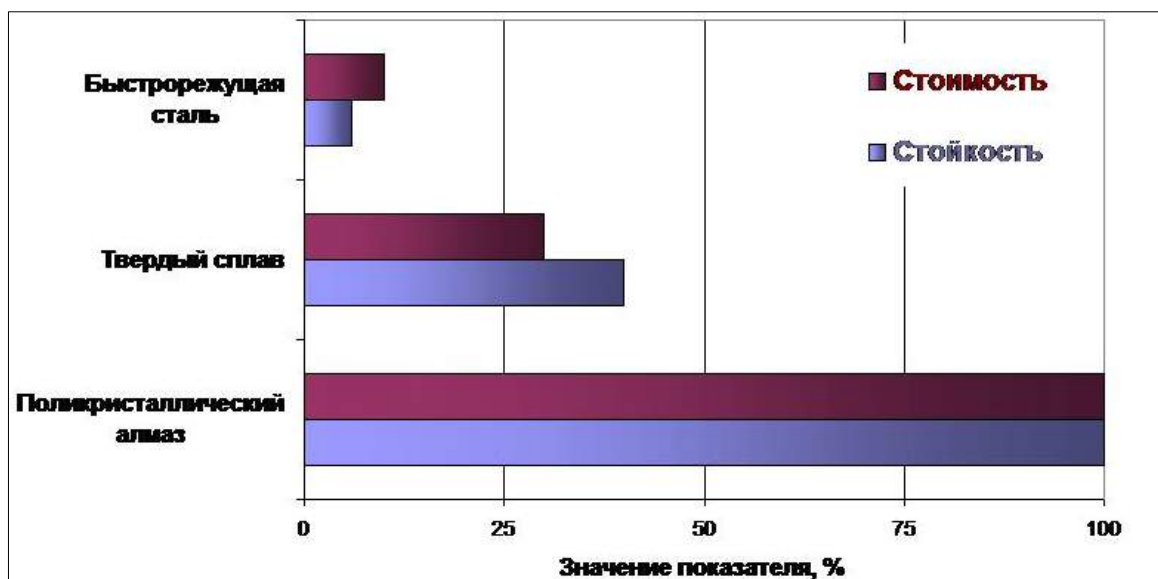


Рис. 11. Диаграмма зависимости стойкости режущего инструмента и его стоимости, в зависимости от материала, из которого он изготовлен

На рисунке 12 приведена диаграмма наиболее оптимальных значений подачи и оборотов режущего инструмента, изготовленного из твердого сплава, при разделке отверстий в основных материалах смешанных пакетов в авиационных конструкциях. Для назначения режимов резания при обработке смешанных пакетов, необходимо искать компромиссное решение (зона 1 и 2), позволяющее обеспечить сопоставимое качество отверстий в деталях из разнородных материалов.

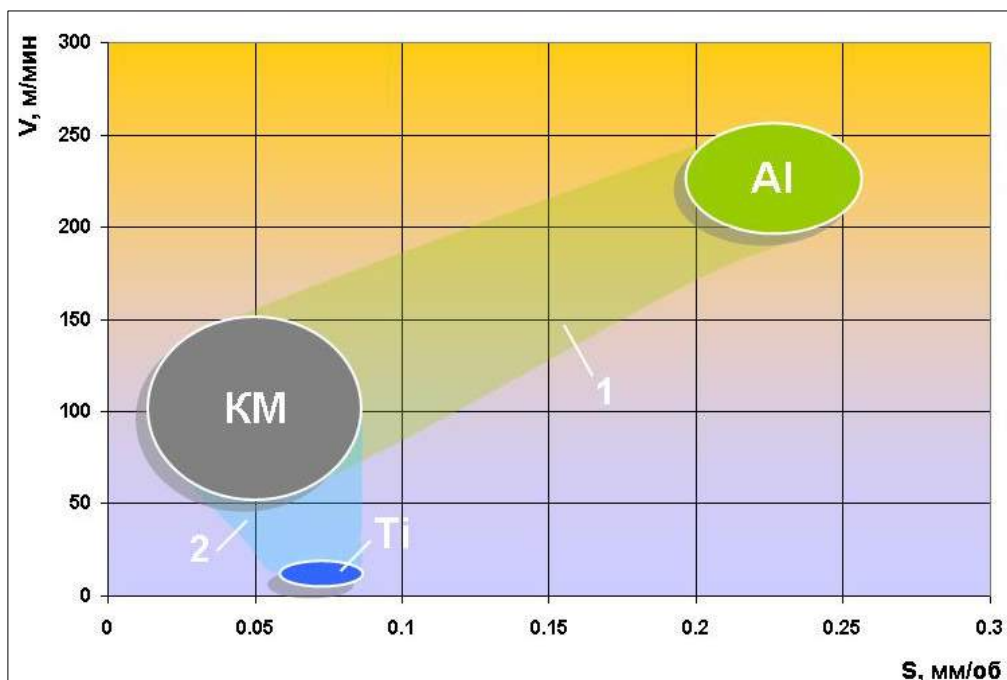


Рис. 12. Диаграмма оптимальных режимов резания твердосплавным инструментом при обработке материалов, применяемых в авиационной промышленности

Наиболее качественные отверстия можно получить путем применения промышленных роботов, это так же может значительно повысить производительность.

Однако, для достижения максимальной эффективности их применения необходимо специальное программное обеспечение, позволяющее применять наиболее оптимальные для каждого слоя в пакете параметры резания.

Благодарим за участие!



СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
1	Аврамец Д.Р. АО «Авистар-СП», г. Ульяновск Особенности формообразования тонкостенных элементов трубопроводов при гибке на станках с ЧПУ	5
2	Баранов А.С., Марковцев В.А. АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск Разработка технологии резки сдвигом детали «Заготовка стойки ползуна» на основе проведенного конечно-элементного моделирования	17
3	Дементьев К.С., Филимонов В.И. УлГТУ, г. Ульяновск Ослабляющая перфорация гнутых профилей	24
4	Демьяненко Е.Г., Епифанов А.Н. СГАУ имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара Формообразование конической заготовки для изготовления деталей на основе процессов отбортовки и формовки	28
5	Илюшкин М.В. АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск Моделирование технологических процессов для авиационной промышленности средствами инженерного анализа: ОМД и механообработка	33
6	Кокорин В.Н., Кокорин А.В., Зиннатов Б.Р., Евстигнеев А.А. УлГТУ, г. Ульяновск Перспективная техника и технология интенсивного прессования заготовок и деталей теоретической плотности из металлических порошков	42
7	Кокорин В.Н., Кокорин А.В., Зиннатов Б.Р., Евстигнеев А.А. УлГТУ, г. Ульяновск Пресс-форма при получении цилиндрических высокоплотных изделий с реализацией условий бокового выдавливания	47

8	Кокорина И.В., Филимонов В.И. УлГТУ, г. Ульяновск Влияние элементов жесткости в донной части профиля на технологию его изготовления	52
9	Кокорина И.В., Филимонов В.И. УлГТУ, г. Ульяновск Влияние предварительного упрочнения заготовки на качество гнутого профиля	56
10	Марковцев В.А., Илюшкин М.В., Попов А.Г. АО «Ульяновский НИИТ», г. Ульяновск Разработка технологии изготовления профилей из листовых заготовок в свежезакаленном состоянии для панелей фюзеляжа МС-21	60
11	Марковцева В.В., Морозов О.И. ОА «Ульяновский НИИТ», г. Ульяновск УлГТУ, г. Ульяновск Моделирование и исследование уголкового зоны ЭДТ гнутых профилей с покрытием	63
12	Марковцева О.Ю., Сивак Е.И. ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б.П. Бугаева», г. Ульяновск Диалектика конструирования летательных аппаратов в Российском и зарубежном опыте самолетостроения	69
13	Пикалов А.А. Филиал ПАО «Корпорация «Иркут» в г. Ульяновск Автоматизированная и роботизированная разделка отверстий при сборке современных летательных аппаратов	73
14	Рыжаков С.Г., Должиков В.А., Перфильев О.В. УФКБ ПАО «Туполев», г. Ульяновск Применение экспертной системы локализации отказов при отработке оборудования самолета «ТУ-204СМ» в эксплуатации	83
15	Рыжаков С.Г., Должиков В.А., Костромитинов С.В., Танонин М.С. УФКБ ПАО «Туполев», г. Ульяновск Повышение эффективности системы вытяжки воздуха санитарных и бытовых помещений самолета	93

16	Смирнова А.С., Почивалов Ю.И., Горбунов А.В. <i>ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)</i> <i>ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск</i> Исследование влияния состояния поверхностного слоя на механические характеристики титанового сплава BT23	100
17	Турундаев К.В. <i>АО «Ульяновский НИАТ»</i> Пути повышения качества гнутолистовых профилей для летательных аппаратов	105
18	Филимонов А.В., Филимонов В.И. <i>ООО «Завод металлических изделий», г. Нижний Новгород</i> <i>УлГТУ, г. Ульяновск</i> Об определении коэффициента асимметрии профиля	114
19	Филимонов А.В., Филимонов В.И. <i>ООО «Завод металлических изделий», г. Нижний Новгород</i> <i>УлГТУ, г. Ульяновск</i> Особенности разработки пневмопресса для отрезки профилей	118
20	Филимонов А.В., Филимонов В.И. <i>ООО «Завод металлических изделий», г. Нижний Новгород</i> <i>УлГТУ, г. Ульяновск</i> Разработка технологии производства профилей обрамления воздуховодов	122
21	Халилов Ф.Х. <i>АО «Ульяновский НИАТ», г. Ульяновск</i> Автоматизация производства гнутых профилей для автомобильной номенклатуры АО «Ульяновский НИАТ»	126
22	Чайников К.К. <i>Филиал ПАО «Корпорация «Иркут» в г. Ульяновск</i> Типовые дефекты, возникающие в процессе механической обработки отверстий в авиационных конструкциях, состоящих из КМУ и труднообрабатываемых металлов и сплавов	128

Электронное научное издание

**ИННОВАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЛИСТОВЫХ
МАТЕРИАЛОВ И УПРОЧНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ
В АВИАЦИОННОЙ И ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**I Всероссийская научно-производственная конференция,
приуроченная ко Дню науки
(Ульяновск, 10 февраля 2016 г.)**

Сборник научных трудов

Ответственная за выпуск Марковцева В. В.

ЛР № 020640 от 22.10.97

Дата размещения на сайте 29.04.2016.

Объем ЭИ (Мб): 8,11.

Тираж 20 экз. Заказ 379.

Ульяновский государственный технический университет,
432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, 32.

Интернет-сайт: <http://tzshp.ru/>