

На правах рукописи

УДК 621.7.04:629.7.



4858298

Серафимов Михаил Андреевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТБОРТОВКИ ОТВЕРСТИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ
ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Специальность 05.07.02

"Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов"

27 ОКТ 2011

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2011

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping letters and lines.

Работа выполнена на кафедре «Технология производства летательных аппаратов» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «МАТИ - Российском государственном технологическом университете имени К.Э. Циолковского».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Чумадин А. С.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Агамиров Л. В.

кандидат технических наук, доцент
Филимонов А. С.

Ведущая организация: ОАО «Комсомольское-на-Амуре авиационное
производственное объединение имени Ю.А.
Гагарина»

Защита состоится «27» 10 2011 г. в «13» часов 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.110.02 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «МАТИ - Российском государственном технологическом университете имени К.Э. Циолковского», по адресу: 109240, г. Москва, Берниковская наб., 14, стр. 2.

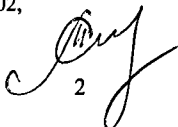
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «МАТИ - Российского государственного технологического университета имени К.Э. Циолковского».

Автореферат разослан «26» 09 2011 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим присылать по адресу: 121552, г. Москва, ул. Оршанская, д. 3, федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «МАТИ - Российского государственного технологического университета имени К.Э. Циолковского»

ученому секретарю диссертационного совета Д 212.110.02.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.110.02,
доктор технических наук, доцент



2

Силуянова М.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Производство новых летательных аппаратов требует постоянного совершенствования технологических процессов, разработки и внедрения новых методов и средств обработки, обеспечивающих постоянно растущие требования по качеству и эксплуатационной надежности изделия.

Технологии изготовления деталей и узлов во многом определяют ресурс изделия, его трудоемкость и себестоимость, стабильность и культуру производства.

Значительная часть деталей современных конструкций самолетов изготавливается из листового материала, пресованных профилей и труб. Примерно 60 % деталей, оформляющих наружный контур (нервюры, шангоуты, рамы, стрингеры, обшивки, обтекатели и др.), многие детали внутреннего оборудования самолета (перегородки, приборные щитки, панели и т.п.) и почти все элементы системы трубопроводов (патрубки и пр.) производятся различными методами в заготовительно-штамповочных цехах. Число деталей из листов, профилей и труб на современных широкофюзеляжных пассажирских самолетах превышает 120 тысяч единиц. От технологичности конструкций этих деталей зависит себестоимость изделия в целом.

В настоящее время трудоемкость изготовления деталей штамповкой составляет 7...16 % от общей трудоемкости изготовления самолетов, что в абсолютных цифрах представляет значительную величину.

При проектировании летательных аппаратов решаются задачи, связанные с созданием конструкций с минимальной массой. Многие детали изделий авиационной техники имеют отбортовки в зоне отверстий, что уменьшает вес деталей и обеспечивает их жесткость: это нервюры, перегородки, кронштейны, элементы трубопроводов и т.д.

Классические технологические способы получения отбортовки имеет определенные недостатки, связанные с низкими предельными возможностями этого процесса (что ограничивает высоту получаемого борта) и значительным утонением материала на кромке отверстия борта. Поэтому интенсификация традиционных технологических процессов, разработка новых процессов, оснастки и оборудования для производства отборонок является актуальной.

Работа является одним из направлений в комплексе исследований выполняемых сотрудниками кафедры «Технология производства летательных аппаратов» МАТИ.

Объектом исследования являются детали с элементами отборонок отверстий.

Предметом исследования является способы и методы расчета процессов отбортовки отверстий.

Целью исследования является сокращение сроков технологической подготовки производства и трудоемкости изготовления деталей летательного аппарата с элементами отбортовки отверстий.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

- проведен анализ способов отбортовки отверстий и методов расчета технологических параметров;
- разработан метод расчета интенсифицированных процессов отбортовки отверстий;
- выполнена экспериментальная проверка полученных теоретических решений;
- разработаны и исследованы новые способы отбортовки отверстий;
- созданы компьютерные программы для расчета основных параметров процесса отбортовки.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработан новый метод расчета традиционного процесса отбортовки и в режимах температурно-силовой интенсификации;
- определены оптимальные режимы отбортовки отверстий при различных способах интенсификации, включая использование профилированных заготовок;
- разработан новый способ отбортовки с подпором кромки отверстия.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

- предложенный способ отбортовки отверстий с подпором кромки отверстий увеличивает возможности формоизменения в 1,5-2,0 раза по сравнению с традиционным процессом, что сокращает число технологических операций, оснастки и оборудования;
- разработанные программы расчета процесса отбортовки на ЭВМ могут быть использованы для обоснования выбора схемы и режимов отбортовки, что сокращает сроки технологической подготовки.

Достоверность полученных результатов подтверждается обоснованностью принятых допущений, современным математическим аппаратом и экспериментальной проверкой.

Апробация работы. Основные результаты работы отражены в 6 публикациях, в том числе в 3 статьях, опубликованных в изданиях рекомендованных ВАК, в патенте на изобретение и 2 тезисах докладов на российских и международных научно-технических конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, общих выводов, списка литературы и 7-и приложений. Полный объем работы составляет 163 страницы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы и научная новизна диссертационной работы, приведена ее общая характеристика.

В первой главе дан обзор состояния вопроса, основные положения процесса отбортовки отверстий, обзор способов отбортовки и методов расчета технологических параметров (рис. 1).

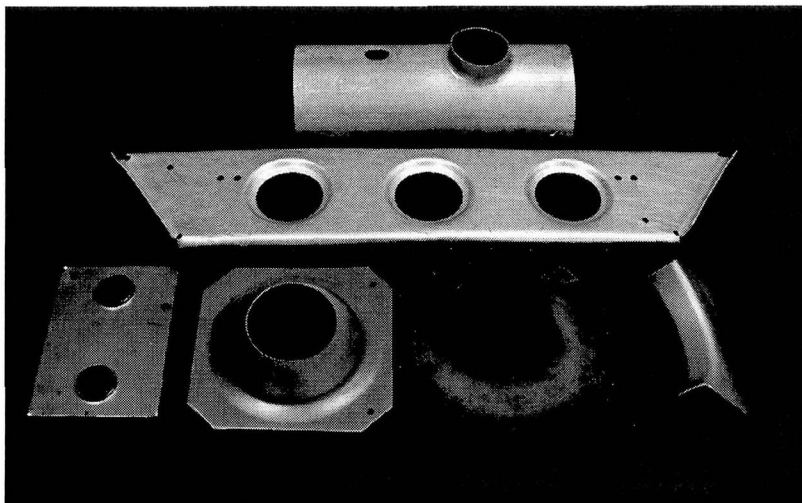


Рис. 1. Типовые детали летательного аппарата, изготовленные отбортовкой

Анализ литературных источников свидетельствует, что исследованию формообразующих операций листовой штамповки посвящено большое количество работ российских и зарубежных ученых и специалистов.

Вопросы обработки металлов давлением, включая процессы получения отбортовки, рассмотрены в работах Горбунова М.Н., Ершова В.И., Исаченкова Е.И., Попова Е.А., Романовского В.П., Томленова А.Д., Марьина Б.Н., У. Джонсона, Г. Меллора и др.

Отбортовка широко используется для повышения жесткости деталей (нервур, перегородок и др.) в зоне отверстий. Процесс осуществляется в жестких штампах, штамповкой эластичной средой на формблоках или с помощью специальных устройств, имеющих автономный привод.

Наиболее изученными являются традиционные процессы отбортовки отверстий: отбортовка круглых отверстий в листовых и трубных заготовках (рис. 2).

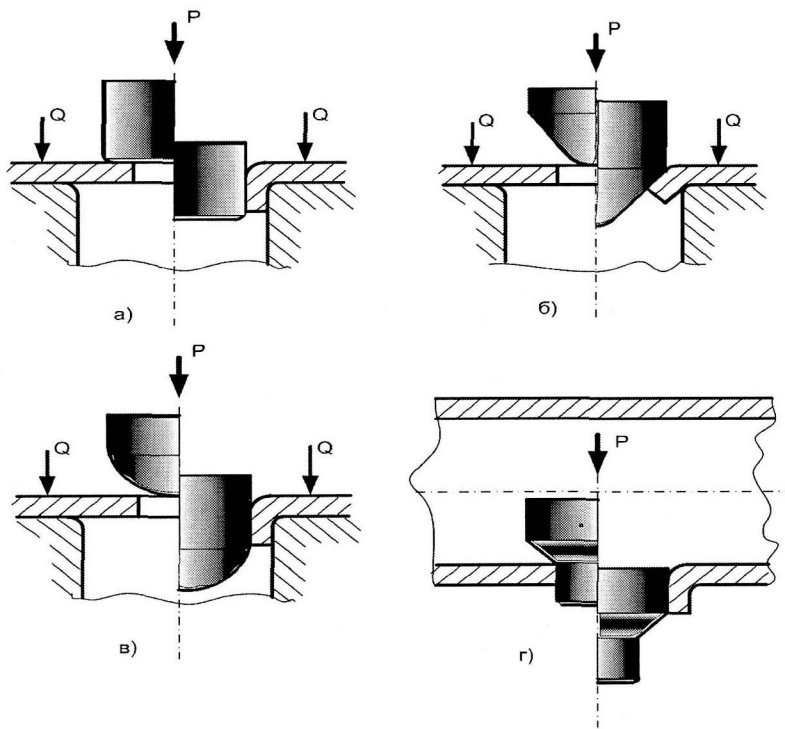
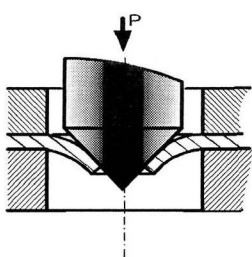
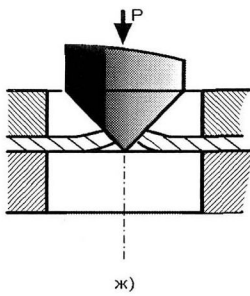
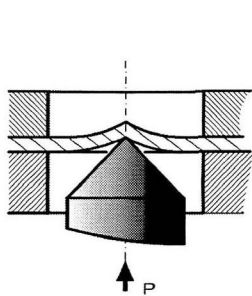
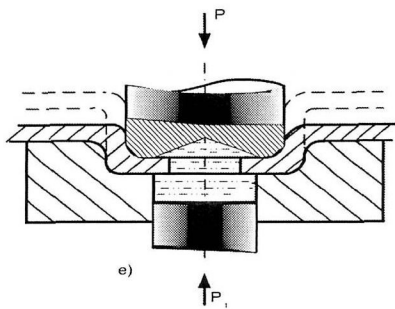
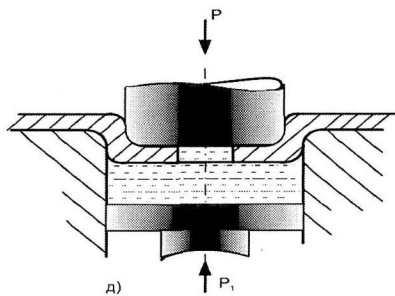
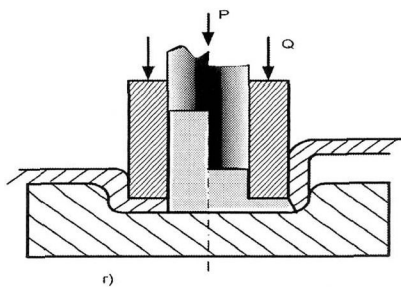
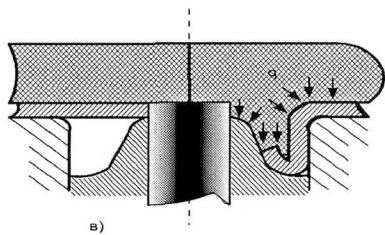
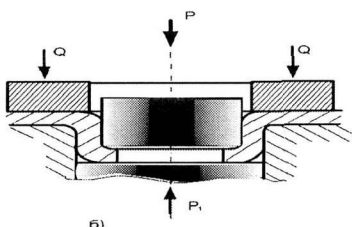
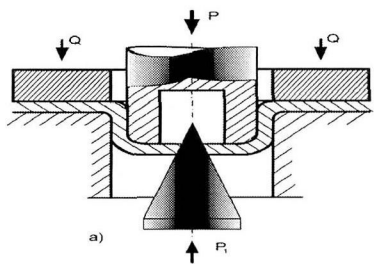


Рис. 2. Технологические схемы отбортовки отверстий в листовых и трубных заготовках:

а), б), в) - отбортовка в листовой заготовке цилиндрическим, коническим и сферическим пуансоном; г) - отбортовка трубной заготовки

Известные технологические способы получения отбортовки имеет недостатки, связанные с низкими предельными возможностями этого процесса, что ограничивает высоту получаемого борта, кроме того происходит значительное утонение материала на кромке борта.

Помимо традиционных способов отбортовки известны различные методы интенсификации этого процесса (рис. 3).



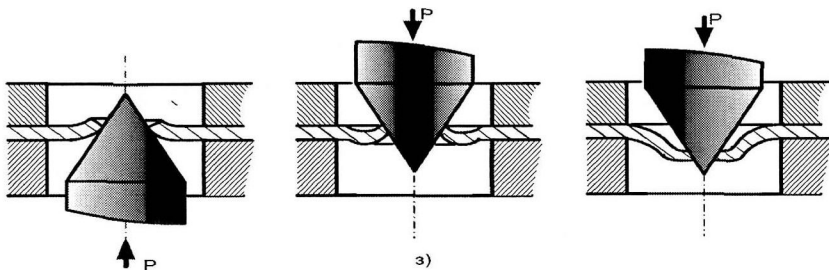


Рис. 3. Схемы интенсификации процесса отбортовки:

а) – схема отбортовки с приложением давления по периметру отверстия; б) – схема отбортовки с приложением давления по нормали к образующей; в) – схемы отбортовки с приложением меридиональных давлений; г) – схема отбортовки воздействием давления на кромку отбортовываемого отверстия; д, е) – схемы отбортовки выдавливанием жидкостью высокого давления; ж) – схема реверсной отбортовки; з) – схемы реверсной отбортовки со складкообразованием

Интенсификация традиционных технологических процессов, разработка новых процессов, оснастки и оборудования для производства отбортовки круглых отверстий позволяет частично преодолеть указанные недостатки традиционного процесса отбортовки, однако известные способы интенсификации еще не достаточно исследованы, часто трудоемки и требуют дополнительных исследований и доработок.

Обзор теоретических методов расчета процесса отбортовки показал, что известные методы расчета обычно не позволяют учесть интенсифицирующие факторы отбортовки в полном объеме (нагрев, силовую интенсификацию, специальную подготовку заготовки и т.п.).

Таким образом, известные методы расчета напряженно-деформированного состояния и технологических параметров при обработке носят, в основном, приближенный характер, обычно не учитывают интенсифицирующие факторы и нуждаются в совершенствовании.

В связи с этим возникают определенные трудности в разработке рационального технологического процесса отбортовки и расчета его оптимальных параметров, что увеличивает сроки технологической подготовки производства и трудоемкости изготовления деталей с отбортовкой.

Во второй главе приведен теоретический анализ процесса отбортовки отверстий. Разработан метод расчета процесса отбортовки круглых отверстий, как в традиционном варианте, так и при различных способах интенсификации.

Концепция разработанного метода решения осесимметричных задач состоит в том, что вначале осуществляется совместное решение всей системы исходных уравнений с получением общего дифференциального уравнения, которое в дальнейшем решается численным методом.

Основными исходными уравнениями для осесимметричной задачи является следующие выражения.

Два уравнения равновесия:

$$\rho \frac{d\sigma_m}{d\rho} + \sigma_m \left(1 + \frac{\rho}{S} \frac{dS}{d\rho} \right) - \sigma_\theta - \frac{\mu\rho}{\sin \alpha} \left(\frac{\sigma_m}{R_m} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta} \right) = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\sigma_n}{S} = \frac{\sigma_m}{R_m} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta}. \quad (2)$$

Условия пластичности:

$$\sigma_S = \sigma_i. \quad (3)$$

Уравнение связи напряжений и деформаций:

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_\theta} = \frac{2\varepsilon_m + \varepsilon_\theta}{2\varepsilon_\theta + \varepsilon_m}. \quad (4)$$

Условие постоянства объема:

$$\varepsilon_m + \varepsilon_\theta + \varepsilon_n = 0. \quad (5)$$

Уравнение состояния материала:

$$\sigma_S = A\varepsilon_i^n. \quad (6)$$

Выражение для расчета интенсивности деформаций:

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_\theta - \varepsilon_m)^2 + (\varepsilon_m - \varepsilon_n)^2 + (\varepsilon_n - \varepsilon_\theta)^2}. \quad (7)$$

Выражение для расчета интенсивности напряжений:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_m^2 - \sigma_m \sigma_\theta + \sigma_\theta^2}. \quad (8)$$

Выражение для расчета окружных деформаций:

$$\varepsilon_{\theta} = \ln \left(\frac{\rho}{\rho_c} \right). \quad (9)$$

Выражение для расчета деформаций по толщине:

$$\varepsilon_n = \ln \left(\frac{S}{S_c} \right). \quad (10)$$

В уравнениях (1) - (10) приняты следующие обозначения:

ρ – текущий радиус получаемый детали; S – толщина стенки детали; μ – коэффициент трения, α – угол между касательной и осью симметрии получаемой детали (определяется инструментом), σ_m – напряжение меридиональное, σ_{θ} – напряжение окружное, σ_n – напряжения по нормали к поверхности, ε_m – меридиональная деформация, ε_{θ} – окружная деформация, ε_n – деформация по нормали к поверхности, σ_s – напряжение текучести, σ_i – интенсивность напряжений, ε_i – интенсивность деформаций; A, n – константа материала; R_0 – окружной радиус; R_m – меридиональный радиус; ρ_c – текущий радиус заготовки; S_c – толщина стенки заготовки.

Расчеты процесса отбортовки отверстий приведены применительно к коническому очагу деформации (рис. 4).

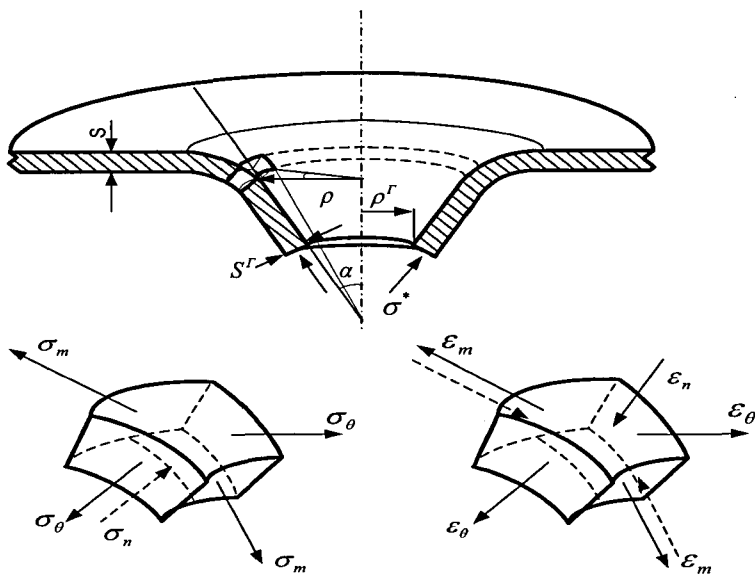


Рис. 4. Схемы напряжений и деформаций при получении конической отбортовки отверстия

где S_i, ρ_i - соответственно толщина и радиус i -го элемента оболочки-детали;
 $\Delta\rho_i$ - шаг интегрирования; S^r, ρ^r - граничные условия, соответственно толщина
стенки и радиус граничного элемента оболочки-детали.

Граничные условия (S^r, ρ^r) для решения уравнения (11) определяется на
кромке детали по выражению:

$$S^r = S_c \left(\frac{\rho_c}{\rho^r} \right)^{\frac{1}{2} + \frac{3F}{2\sqrt{4-3F^2}}} \quad (13)$$

где S_c, ρ_c - соответственно исходная толщина стенки и радиуса заготовки на
кромке; F - величина осевого подпора кромки заготовки в относительных единицах;

$$F = \frac{\sigma_m^{\text{подпора}}}{\sigma_s}$$

Если подпор отсутствует ($F=0$), то условие (13) имеет вид:

$$S^r = S_c \left(\frac{\rho_c}{\rho^r} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

Результаты расчета традиционного процесса отбортовки (рис. 5) в соответствии с
блок-схемой (рис. 6) приведены на рис. 7-9.

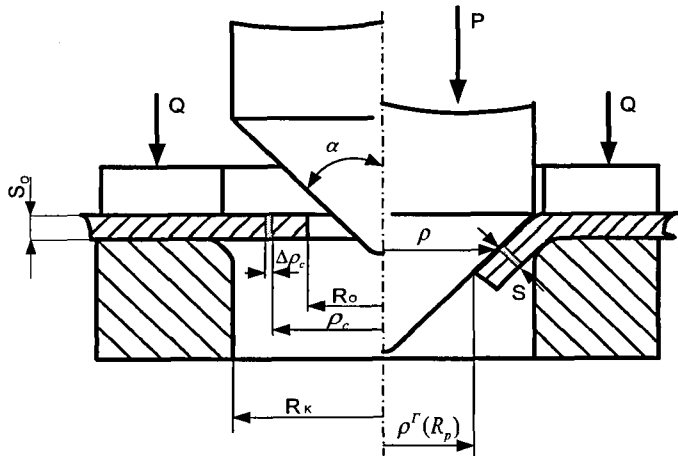


Рис. 5. Схема отбортовки отверстий коническим пуансоном

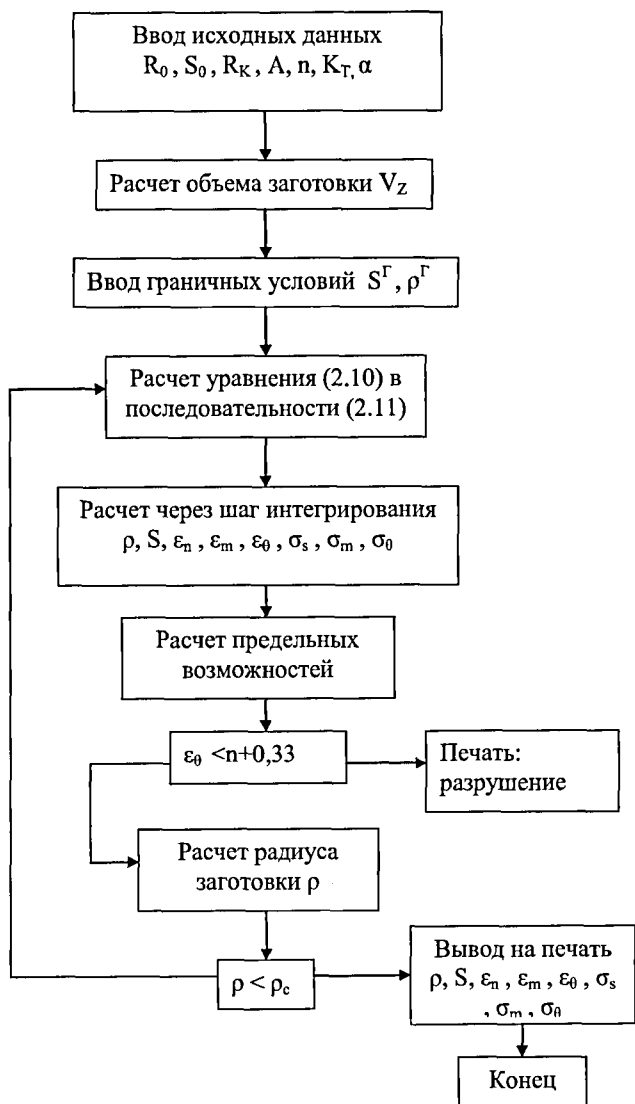


Рис. 6. Блок-схема моделирования процесса отбортовки отверстий

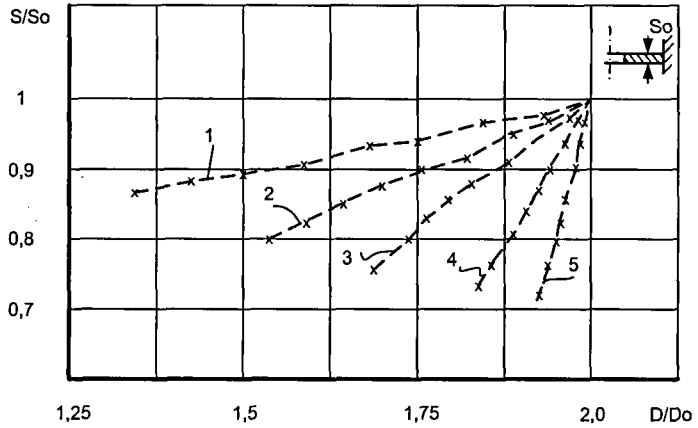


Рис. 7. Распределение толщины по образующей получаемой отбортовки в зависимости от угла рабочей поверхности пуансона:
 1 $\alpha = 45^\circ$; 2 $\alpha = 30^\circ$; 3 $\alpha = 20^\circ$; 4 $\alpha = 10^\circ$; 5 $\alpha = 5^\circ$ (0)

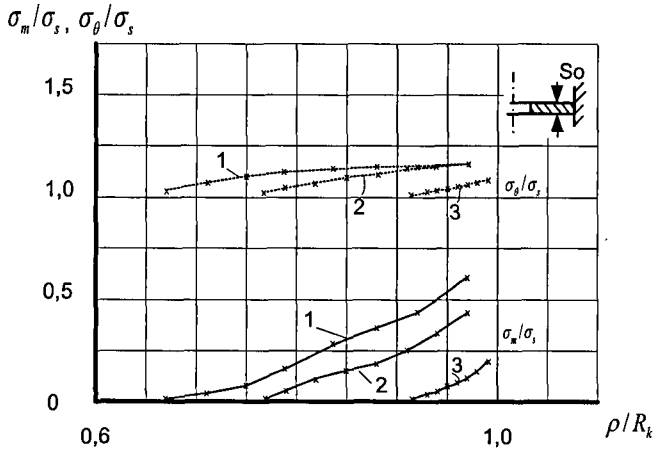


Рис. 8. Распределение меридиональных σ_m и окружных σ_θ напряжений в зависимости от угла α пуансона: 1 - $\alpha = 45^\circ$ ($K_{отб} = 0,749$); 2 - $\alpha = 30^\circ$ ($K_{отб} = 0,651$); 3 - $\alpha = 10^\circ$ ($K_{отб} = 0,542$),
 _____ (σ_m / σ_s), (σ_θ / σ_s)

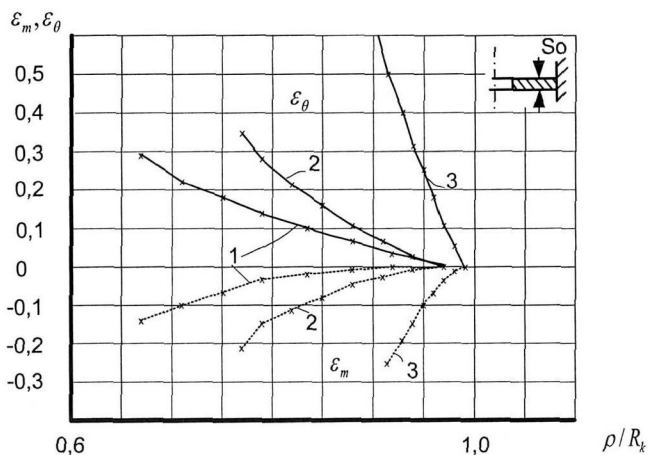


Рис. 9. Распределение меридиональных ϵ_m и окружных деформаций ϵ_θ в зависимости от угла α пуансона: 1 - $\alpha = 45^\circ$, 2 - $\alpha = 30^\circ$, 3 - $\alpha = 10^\circ$ ϵ_m , _____ ϵ_θ

Аналогичным образом проведены расчеты процесса отбортовки в различных условиях интенсификации (рис. 10).

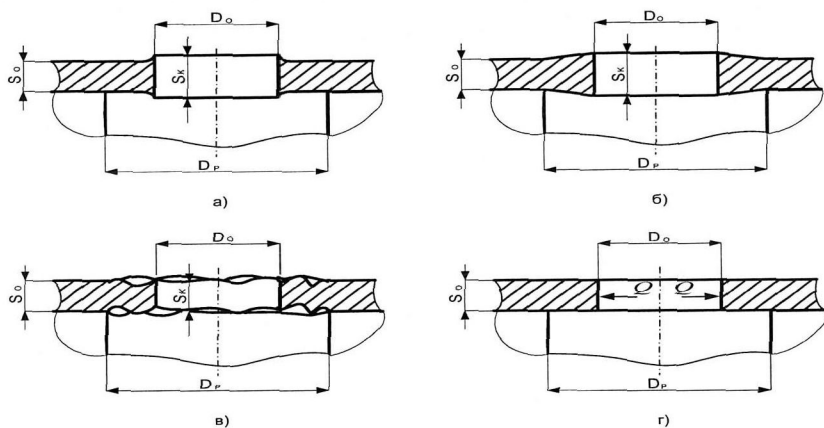


Рис. 10. Рассматриваемые виды интенсификации процесса отбортовки: а), б) – использование заготовок с утолщенной кромкой отверстия; в) использования гофрированных заготовок; г) отбортовка с подпором кромки отверстия

На основе теоретических расчетов установлено количественное влияние основных интенсифицированных факторов на процесс отбортовки. Установлено, что:

- утолщение кромки отверстия обеспечивает более равномерную толщину отбортовка по всей высоте борта;
- предварительное гофрирование заготовки даст возможность увеличить высоту борта на 10-20% при прочих равных условиях;
- подпор кромки даст возможность управлять толщиной получаемой детали, изготавливать отбортовки с более равномерной толщиной; предельные возможности отбортовки могут быть существенно повышены.

В результате проведенных теоретических исследований процесса отбортовки отверстий получены следующие результаты.

Разработана новая математическая модель расчета традиционных и интенсифицированных процессов отбортовки отверстий. Эта модель является более общей, чем известные способы расчета, что дает возможность учитывать различные интенсифицирующие факторы.

Разработанные программы расчеты процесса отбортовки на ЭВМ дают возможности проводить оптимизацию технологических процессов и сокращать сроки технологической подготовки производства.

В третьей главе изложены результаты экспериментальных исследований. Дана методика проведения эксперимента; описаны оборудование, приспособления, приборы и инструмент. Проведено сопоставление результатов теоретических и экспериментальных работ. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 11 – 14.

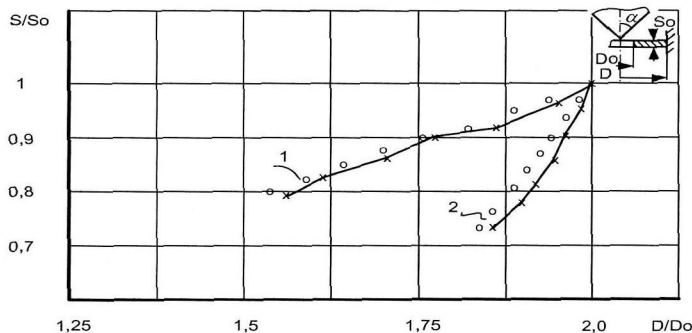


Рис. 11. Распределение толщины по образующей получаемой отбортовки в зависимости от угла рабочей поверхности пуансона, материал 12Х18Н10Т. Теоретический расчет и экспериментальные точки: 1 – $\alpha = 30^\circ$; 2 – $\alpha = 10^\circ$

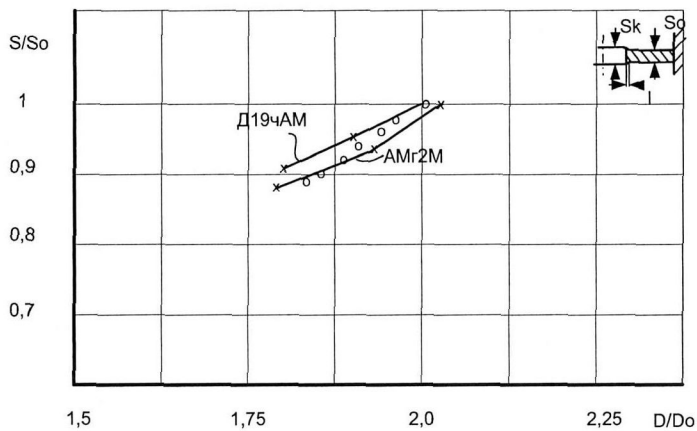


Рис. 12. Распределение толщины при отбортовке с утолщенной кромкой: теоретический расчет и экспериментальные точки ($\alpha = 10^\circ$)

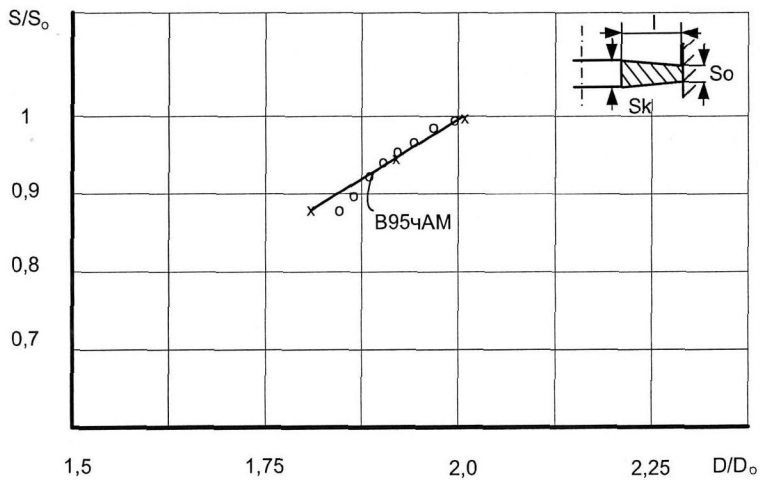


Рис. 13. Распределение толщины при отбортовке с трапецидальной кромкой: теоретический расчет и экспериментальные точки ($\alpha = 10^\circ$)

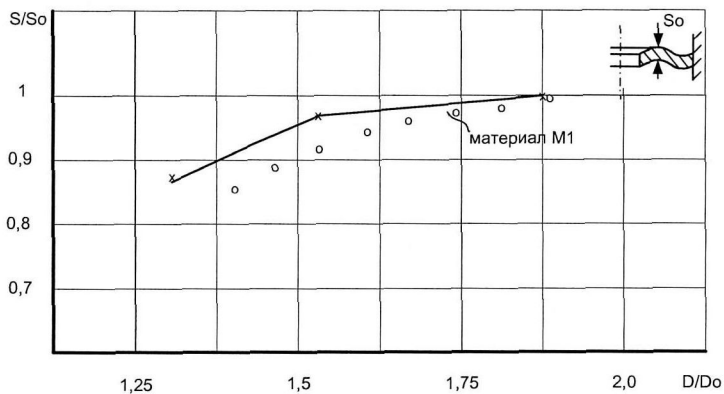


Рис. 14. Распределение толщины по образующей отбортовки, получаемой из заготовки с гофрированной поверхностью. Теоретический расчет и экспериментальные точки

Проведенные эксперименты подтвердили теоретические расчеты с погрешностью до 10-15% о положительном влиянии при отбортовке использование специальных заготовок.

При отбортовке с подпором кромки отверстия был разработан новый способ, защищенный патентом на изобретение № 2426615 от 16.03.2010г. Способ отбортовки заключается в том, что в заготовке перед отбортовкой выполняют технологическое отверстие, а затем предварительно деформируют материал в зоне отверстия (рис. 15). Окончательно отбортовку осуществляют путем давления на кромку отверстия с одновременным бортообразованием на жестком пуансоне (рис. 16).

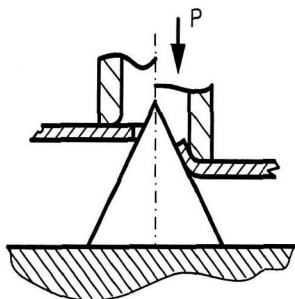


Рис. 15. Схема предварительного процесса отбортовки

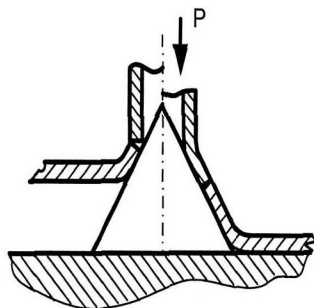


Рис. 16. Схема окончательного формирования борта с подпором кромки

Проведенные эксперименты подтвердили повышенные возможности предложенного способа отбортовки с подпором, как в холодном состоянии, так и с нагревом материала заготовки (рис. 17, 18).

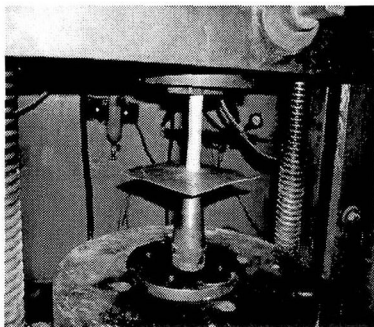


Рис. 17. Процесс отбортовки отверстия с подпором кромки в холодном состоянии

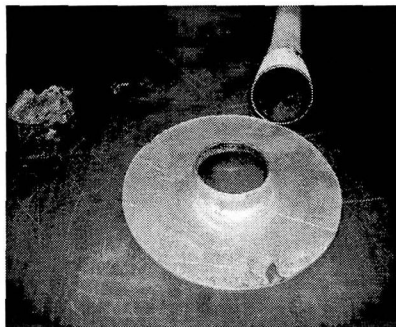


Рис. 18. Полученная отбортовка при штамповке с нагревом и толкатель в виде трубы

Сопоставление расчета и эксперимента при отбортовке с подпором кромки дано на рис. 19 – 21.

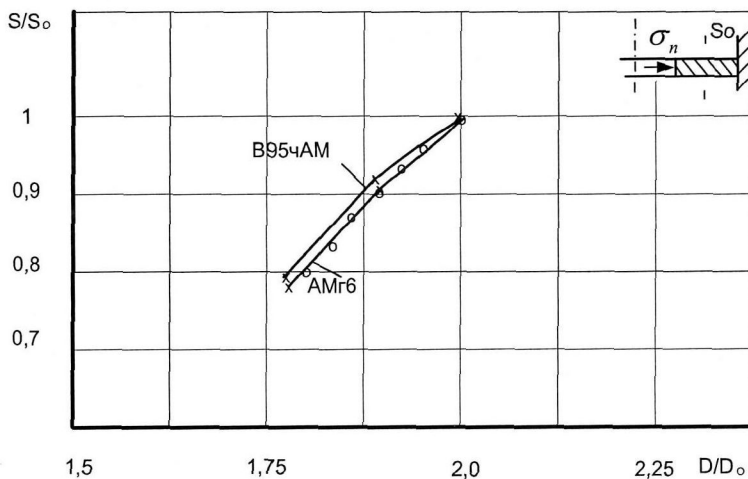


Рис. 19. Распределение толщины при отбортовке с подпором кромки. Теоретический расчет и экспериментальные точки ($t = 20^{\circ}\text{C}$)

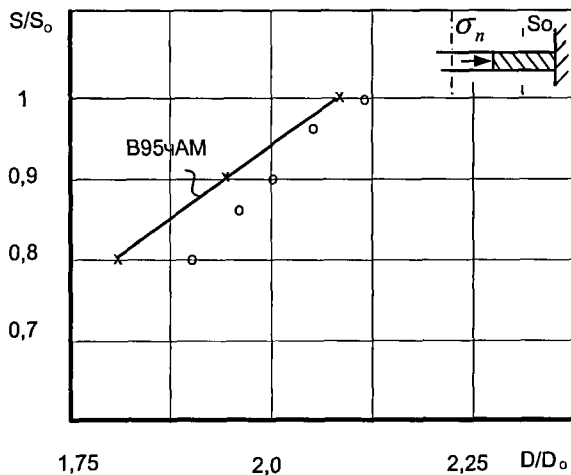


Рис. 20. Распределение толщины при отбортовке с подпором кромки. Теоретический расчет и экспериментальные точки ($t = 350-400^\circ\text{C}$)

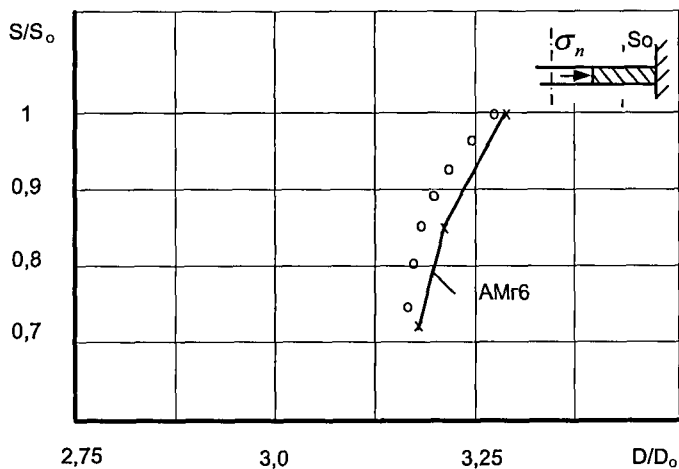


Рис. 21. Распределение толщины при отбортовке с подпором кромки. Теоретический расчет и экспериментальные точки ($t = 350-400^\circ\text{C}$)

Установлено, что возможности отбортовки подпором кромки в холодном состоянии увеличивается в 1,5-2,0 раза, а при отбортовки с нагревом – еще больше по сравнению с аналогичными традиционными процессами.

Кроме того была подтверждена эффективность разработанной математической модели для расчета процесса отбортовки отверстий в производстве деталей летательных аппаратов.

В материалах приложений приведены программы для ЭВМ, результаты расчетов, решение о выдаче патента на изобретение от 21.02.2011г. и акт внедрения результатов диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Известные технологические способы получения отборонок имеют недостатки, связанные с низкими предельными возможностями этого процесса, что ограничивает высоту получаемого борта, кроме того, происходит значительное утонение материала на кромке борта. Способы интенсификации (температурные, силовые и др.) позволяют получать отбортовку с более высокими техническими характеристиками, но трудоемки и требуют дополнительных теоретических и технологических исследований.

2. В результате теоретического анализа процессов отбортовки отверстий установлено, что известные методы расчета напряженно-деформированного состояния и технологических параметров носят, в основном, приближенный характер, обычно не учитывают интенсифицирующие факторы.

3. Разработанная математическая модель расчета традиционных и интенсифицированных процессов отбортовки отверстий дает возможность вести количественный учет различных факторов температурно-силовой интенсификации, и особенностей отбортовки при использовании специальных профилированных заготовок. Эта модель является более общей, чем известные способы расчета. Её программная реализация позволяет автоматизировать процесс расчета отбортовки.

4. Экспериментальные исследования показали приемлемость полученных при теоретическом анализе математических моделей. Погрешность в расчетах технологических параметров не превышает 10-15%.

Экспериментально подтверждена эффективность отбортовки заготовок с утолщенными кромками отверстий и гофрированных заготовок, что дает возможность управлять толщиной и высотой борта.

5. Разработанный новый способ отбортовки с подпором кромки обеспечивает повышение возможностей отбортовки в 1,5 – 2 раза и прост в реализации. Данный способ значительно сокращает трудоемкость изготовления деталей летательного аппарата с элементами отбортовки отверстий.

6. Разработанные программы расчеты процесса отбортовки на ЭВМ дают возможности проводить оптимизацию технологических процессов и сократить сроки технологической подготовки производства.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях.

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Иванов Ю.Л., Марьин Б.Н., Серафимов М.А. и др. Штамповка деталей с электротермическим воздействием // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением-2008.- № 2 - С. 18-24.

2. Серафимов М.А. Расчет интенсифицированных процессов отбортовки отверстий // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. Специальный выпуск к 70- летию кафедры ТПИА МАТИ -2010-С. 33-35.

3. Марьин Б.Н., Грачева О.А., Серафимов М.А. др. Технология изготовления деталей из листовых и трубных заготовок посредством замораживания воды // Авиационная промышленность-2011.- № 1- С. 22-25.

Патенты:

4. Чумадин А.С., Серафимов М.А. Способ отбортовки отверстий в листовых заготовках // Патент № 2426615 от 16.03.2010г. С. 5.

Тезисы в сборниках и материалах научных конференций:

5. Серафимов М.А. Способ отбортовки отверстий // Материалы международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы обработки материалов и заготовительных производств» том-2 КИАГТУ- 2010-С. 351-354.

6. Серафимов М.А. Сопоставление теоретических и экспериментальных работ по исследованию процесса отбортовки отверстий в производстве деталей летательных аппаратов // Гагаринские чтения. XXXVII Международная научная конференция. Том 8 М. МАТИ -2011-С. 216-217

Заказ № Подписано в печать 14.09.2011 Тираж 100 экз. Усл. п.л. 1

ООО «БизнесСтильСервис», тел.: 8 (495) 518-60-42

www.tbstyle.ru, e-mail: info@tbstyle.ru