1548958

На правах рукописи

Жигилий Светлана Викторовна

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗ ЛИСТА ЭЛАСТИЧНЫМ ПУАНСОНОМ ПО ЖЕСТКОЙ МАТРИЦЕ СФЕРООБРАЗНЫХ ОБОЛОЧКОВЫХ ДЕТАЛЕЙ С МИНИМАЛЬНЫМ УТОНЕНИЕМ СТЕНКИ

Специальность: 05.03.05. — «Процессы и машины обработки давлением»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

С. Жигилий

Москва 1995

НЕ ВЫНОСИТСЯ

На правах рукописи

1548958
Жигилии С.В. Интенсификаци

Жигилий Светлана Викторовна

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИЗ ЛИСТА ЭЛАСТИЧНЫМ ПУАНСОНОМ ПО ЖЕСТКОЙ МАТРИЦЕ СФЕРООБРАЗНЫХ ОБОЛОЧКОВЫХ ДЕТАЛЕЙ С МИНИМАЛЬНЫМ УТОНЕНИЕМ СТЕНКИ

Специальность: 05.03.05. - "Процессы и машины обработки давлением"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 1995

1548958

Работа выполнена в Московском Государственном авиационном институте (Техническом университете) МАИ

Научный руководитель – *доктор технических наук, профессор Исаченков Е.И.*

Официальные оппоненты: *доктор технических наук, профессор Овчинников А.Г.*
кандидат технических наук Константинов В.Ф.

Ведущее предприятие – научно-исследовательский институт авиационной технологии.

Защита диссертации состоится "20" декабря 1995 г. в 10 часов на заседании диссертационного Совета К 053.15.13 в Московском Государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв в одном экземпляре, заверенный печатью просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ имени Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан "16" ноября 1995 г.

Телефон для справок 267-09-63.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного Совета
кандидат технических наук, доцент Шубин И.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы Сферообразные оболочковые детали находят и в перспективе будут находить все более широкое применение в авиационно-космическом производстве и в других отраслях машиностроения (жидкостные реактивные двигатели баллистической ракеты; аэрокосмические аппараты типа "Буран"; бортовые баки-вытеснители; многочисленные емкости кислородного обеспечения, обеспечения сжиженным воздухом, водородом и другими средами под давлением.) Это объясняется тем, что емкости-оболочки сферообразной формы, в отличие от любых других форм, обеспечивают:

- минимальную массу;
- наименьший теплоотвод;
- наивысшую прочность при минимальной площади поверхности и наибольшей величине полезного объема.

Все это гарантирует наивысшие функциональные характеристики такого типа оболочковых деталей.

Вместе с тем, анализ традиционно применяемой технологии получения класса сферообразных оболочковых деталей показывает, что существующие технологии не обеспечивают в полной мере требований конструкции подобного типа деталей, поскольку сохраняется значительная удельная масса, неравномерность и особое утонение стенки детали, недостаточно высокое качество поверхности, высокая неоднородность механических свойств.

Исключение этих недостатков, как будет показано в настоящей работе, достигается применением нового процесса, названного фрикционно-реверсивной вытяжкой эластичным пуансоном по жесткой матрице, исследование которого составляет основное содержание настоящей работы.

Актуальность работы подтверждается также следующими положениями:

1. Постановление (Приказ Министра Авиационной промышленности) № 383 от 31.08.87 г. "О долгосрочной комплексной программе снижения металлоемкости национального продукта".

2. Приказ по Министерству Авиационной промышленности № 458 от 21.10.87 г. "О необходимости разработки мероприятий по повышению коэффициента использования материала".

Следует отметить, что актуальность названных постановлений в

настоящее время не только не уменьшилось, но еще больше возросла.

Цель работы. Разработка научных и практических основ нового, наиболее эффективного по сравнению с существующими, технологического процесса фрикционно-реверсивной вытяжки эластичной средой по жесткой матрице, обеспечивающего минимальное утонение, равномерномерность свойств и качества поверхности стенки детали сферообразной формы.

Научная новизна исследований. Впервые разработан новый эффективный технологический процесс, и на основе изучения напряженного и деформированного состояний в процессе его осуществления на базе использования современной теории контактного трения и теории упруго-пластического деформирования созданы теоретические основы (теория) этого процесса.

Автор защищает:

- создание нового технологического процесса получения сферообразных оболочковых деталей с минимальным утонением стенки детали;
- результаты анализа напряженного и деформированного состояний в различных зонах очага деформации;
- теоретические зависимости для расчета напряжений и деформаций в любой точке деформируемой заготовки;
- аналитические зависимости по расчету напряжений в опасном сечении в функции базовых параметров;
- результаты теоретических исследований по установлению основных факторов, определяющих технологические возможности процесса.

Достоверность результатов, полученных в ходе теоретических исследований, подтверждается совпадением их с опытными данными. Наибольшее расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями напряжения в опасном сечении заготовки не превышает 7,9 %.

Практическая ценность. Теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать производственные рекомендации в виде руководящего технического материала для использования результатов исследований в промышленности. Рекомендации включают: назначение; изложение сущности нового процесса; его краткие теоретические основы и технологические возможности; рекомендации по расчету параметров, выбору материала, геометрии конструктивных параметров инструмента; рекомендации по выбору оборудования, смазочных сред и интенсификаторов трения; мероприятия по технике

безопасности.

Руководящий материал позволяет сразу приступить к использованию нового процесса в производстве на современных гидравлических прессах.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-технических семинарах лаборатории обработки давлением кафедры "Технология металлов" МАИ в 1994-1995 г. По материалам работы сделаны доклады на научно-техническом семинаре "Эффективные технологические процессы листовой штамповки" в Центральном Доме Знаний России в 1993 г. (г. Москва); на II Всероссийской научно-технической конференции "Прогрессивные технологические процессы, оборудование и оснастка для холодноштамповочного производства" Приволжского Дома научно-технической пропаганды в 1994 г. (г. Самара).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 научных статьи, один технический отчет по х/д, подано 2 заявки, руководящий технический материал (в рукописи).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, общих выводов по работе, списка использованных литературных источников (115 наименований) и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель и основные пути ее достижения, сформулированы основные научные и практические результаты исследований, а также положения, выносимые на защиту и определяющие ее научную новизну. Приведена краткая аннотация работы.

В первой главе дана характеристика класса сферообразных оболочковых деталей в производстве авиационно-космической техники и в других отраслях машиностроения; конструктивные требования, предъявляемые к ним, и требования в направлении интенсификации технологии их формообразования с точки зрения обеспечения конструктивных и технологических требований. Дан анализ существующих способов изготовления сферообразных оболочковых деталей, а также работ, посвященных процессу вытяжки из листа.

При изучении процессов формообразования важной задачей является отыскание поля напряжений и определение на основе этого

допустимой степени деформации, которая ограничивается или разрушением заготовки, или потерей устойчивости, приводящей к нежелательному искажению формы.

Фундаментальными отечественными работами, посвященным вопросам вытяжки с помощью эластичных сред и инструментальных штампов, являются работы Н.М.Бирюкова, Е.И.Исаченкова, Е.А.Попова, Л.А.Шофмана и др.. В них достаточно подробно, исходя из условий равновесия, исследуется напряженно-деформированное состояние заготовки с целью определения необходимых для ее формоизменения силовых параметров технологического процесса, оптимальной геометрии оснастки и предельных деформаций, характеризующих тот или иной процесс формообразования.

С использованием научно-методических основ прогнозирования новых технологических процессов в области общей технологии машиностроения проф.Исаченкова Е.И. проведен целенаправленный поиск и дано обоснование выбору базовой схемы для исследования приведены схемы существующих способов получения широко применяемых в авиационно-космической отрасли сферообразных оболочковых деталей, показаны их преимущества и недостатки. Предшествующий анализ показал, что существующие процессы могут решать задачу получения сферообразных оболочек, но с качеством, не отражающим в полной мере современным и перспективным требованиям к их конструкции. Как показал анализ предшествующих исследований, существующие процессы штамповки-вытяжки создавались как универсальные, охватывающие формообразование различных классов деталей, в том числе и сферообразных. В литературе отсутствует целенаправленный поиск процесса подкласса сферообразных оболочковых деталей.

В настоящей работе предпринимается попытка после рассмотрения приведенных процессов, целенаправленно синтезировать процесс вытяжки, исходя из требований формирования сферообразных оболочковых деталей с наивысшей равномерностью и наименьшим утонением стенки детали, в связи с чем предпринимается попытка создать такое нагружение заготовки, т.е., сформировать такую систему внешних сил, при которой будет обеспечена конструкция сферообразной оболочковой детали в соответствии с требованиями, предъявляемыми к сферообразным оболочкам. Т.о., речь идет о создании нового интегрального процесса и последующего исследования его технологических возможностей применительно к поставленной

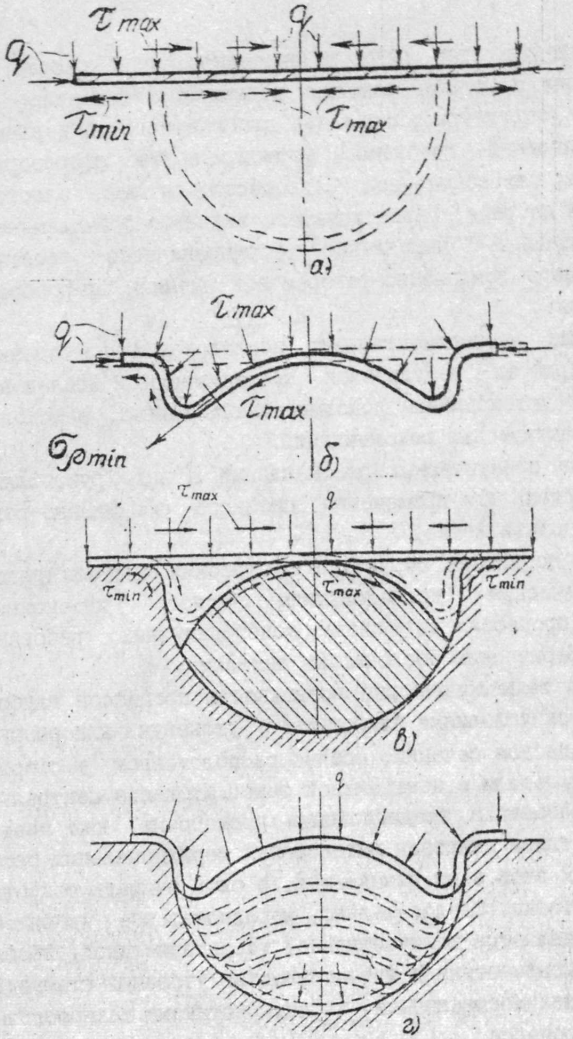


Рис. I. Структура формирования и технологическая схема процесса фрикционно-реверсивной вытяжки эластичной средой по жесткой матрице:

а, б – структурно-кинематическая схема нагружения заготовки внешними силами;

в, г – технологическая схема и стадии осуществления процесса.

цели. Для достижения этой цели в диссертационной работе были поставлены и решены следующие основные задачи исследований:

I. Изыскание структуры нагружения плоской заготовки внешними силами, обеспечивающей требуемое формоизменение сферообразной оболочки из листа; разработка нового процесса вытяжки эластичной средой по жесткой матрице, гарантирующего заданное формоизменение.

2. Исследование напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе фрикционно-реверсивной вытяжки сферообразной оболочковой детали.

3. Проведение экспериментальных исследований по оценке и проверке достоверности результатов теоретических исследований нового процесса и установление дополнительных данных, необходимых для разработки практических рекомендаций.

4. Разработка практических рекомендаций в виде руководящего технического материала для применения процесса фрикционно-реверсивной вытяжки в производстве.

Вторая глава посвящена структуре построения системы внешних сил и теоретическим исследованиям нового интенсивного технологического процесса на основе конструктивных требований, предъявляемых к сферическим оболочковым деталям.

Известно, что технологические возможности процессов глубокой вытяжки определяются условиями наибольшего утонения или разрушением заготовки в опасном сечении, обычно расположенном у сферообразной оболочковой детали в центральной зоне. Утонение центральной зоны при формообразовании традиционными процессами, как известно, является следствием действия интенсивных меридиональных растягивающих напряжений этой зоны, вызываемых, в свою очередь, сопротивлением фланца заготовки. Следовательно, меридиональное напряжение в опасном сечении является количественной характеристикой, управляющей степенью формоизменения и интенсивностью утонения стенки детали являющимися взаимосвязанными характеристиками технологических возможностей процесса.

Структурная схема нагружения, исключающая вредное влияние меридионального напряжения, приведена на рис. I (а,б). Большое влияние в формировании такой схемы нагружения оказали напряжения контактного трения, прилагаемые к поверхности заготовки. Отличительной особенностью этой схемы является блокирование интенсивными напряжениями трения центральной зоны заготовки, создание также напряжениями трения поля сжимающих радиальных

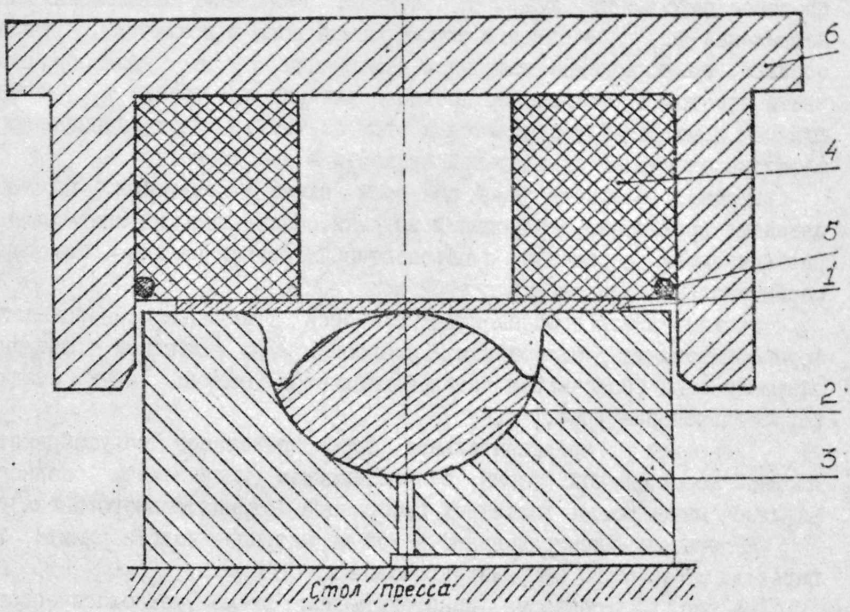


Рис. 2. Конструктивная схема технологического блока для осуществления процесса фрикционно-реверсивной вытяжки сферообразных оболочковых деталей: 1 – заготовка; 2 – центрирующий вкладыш, 3 – матрица; 4 – пуансон; 5 – металлический уплотнитель; 6 – контейнер высокого давления.

напряжений в переходной области и минимальных растягивающих напряжений во фланцевой зоне.

Активное нагружение фланцевой части заготовки контактными силами трения τ_{max}, действующими между кольцевым эластичным пуансоном и заготовкой, интенсивно увлекая фланец к центру в процессе деформации пуансона, создают сжимающие меридиональные напряжения $\sigma_{\rho(\alpha)}$ в опасной торообразной зоне и исключают, таким образом, возникновение толщинной деформации ε_s в куполообразной части заготовки. Исключение вредного влияния сил трения τ_{min} между фланцем и матрицей достигается в этом случае за счет применения эффективной смазки оптимальной вязкости в этой зоне.

Процесс, осуществляемый по этой схеме нагружения, получил название фрикционно-реверсивной вытяжки, обеспечивающий минимальное растягивающее напряжение с перспективой возникновения сжимающих меридиональных напряжений в этой зоне.

Отличительной особенностью процесса фрикционно-реверсивного формообразования эластичным пуансоном по жесткой матрице сферообразных оболочковых деталей является наличие двух стадий формообразования (рис.I в,г):

I переход - предварительное формообразование полуфабриката сложной торообразной формы с достижением посредством опорного вкладыша минимальных толщинных деформаций (отрицательного знака);

2 переход - выворачивание в той же матрице полуфабриката I перехода до полного оформления оболочки.

На рис. 2 показана конструктивная схема технологического блока, иллюстрирующая механизм процесса фрикционно-реверсивной вытяжки сферообразных оболочковых деталей эластичным пуансоном.

На матрицу 3, с расположенным на ней вкладышем 2, укладывается плоская заготовка I, к поверхности которой прилагается давление со стороны эластичного пуансона 4, заключенного в корпусе контейнера высокого давления 6. Для предотвращения вытекания эластомера между наружным контуром матрицы и внутренней стенкой корпуса контейнера применен металлический уплотнитель высокого давления 5. По мере роста давления со стороны эластичного пуансона, полость последнего сокращается, поскольку он, деформируясь, устремляется к оси его отверстия, и возникающие при этом напряжения трения на поверхности контакта с заготовкой (τ_{max}) увлекают фланец заготовки в полость ручья, образованного между контуром рабочей зоны матрицы и

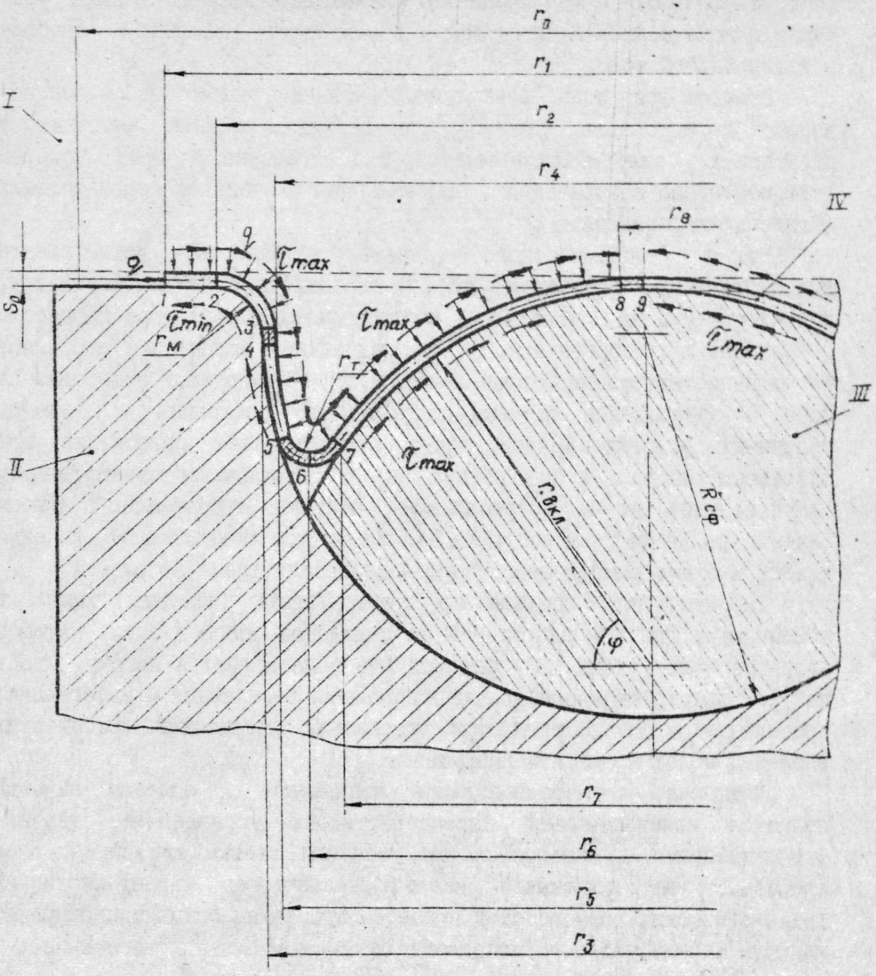


Рис.3. Структурная схема для анализа напряженно-деформированного состояния заготовки при фрикционно-реверсивной вытяжке эластичным пуансоном по жесткой матрице:
I - эластичный пуансон; II- матрица; III - вкладыш;
IV- формообразуемая деталь

опорным вкладышем с формированием минимальных меридиональных напряжений в зоне контакта заготовки с поверхностью вкладыша 2 свободной торовидной зоны.

Процесс фрикционно-реверсивной вытяжки, таким образом, обеспечивает формирование такого распределения системы активных и реактивных сил, прилагаемых к заготовке, при котором формоизменение совершается с минимальными значениями отрицательных толщинных деформаций.

Целью теоретического анализа являлось установление функциональных зависимостей, определяющих деформационные характеристики на основе новых представлений о механизме процесса. Особенностью теоретического исследования является системное расчленение нагруженной внешними силами деформируемой заготовки на зоны с однородными схемами напряженного состояния с учетом граничных условий каждой зоны; рассмотрением равновесия под действием внешних и внутренних сил с последующим суммированием (интеграцией) их и установлением величин напряжений в любом сечении очага деформации (Рис.3). Таких зон оказалось 9. Сечение каждой и схема напряженного состояния представлена на рис. 4.

Теоретически исследовано воздействие внешних сил и возникающих при том напряжений на поведение опасной зоны, которой является зона 7 (Рис. 3). Опасной эта зона является потому, что в ней концентрируются наибольшие напряжения растяжения и деформации, приводящие к утонению и при достижении напряжений критических значений может произойти разрушение.

Учитывая, что меридиональное напряжение в опасном сечении является количественной характеристикой, управляющей степенью формоизменения и интенсивностью утонения стенки детали, в свою очередь, являющимися взаимосвязанными характеристиками технологических возможностей процесса, условием оптимизации принят минимум меридионального напряжения в опасном сечении заготовки.

Условие формообразования:

$$\sum \sigma_{p(э)} = \sigma_{p7} \to min \qquad (I)$$

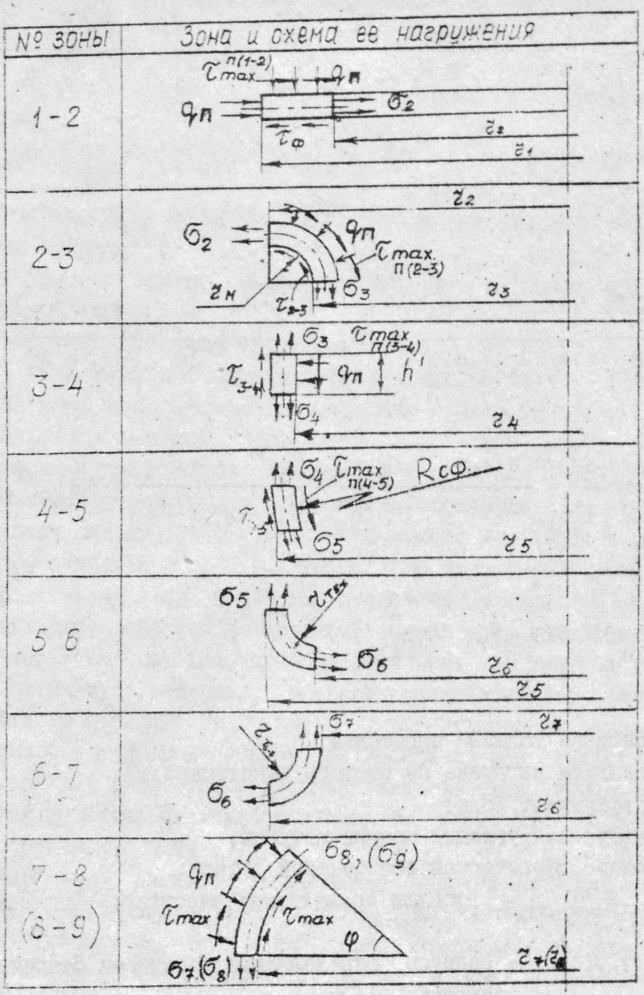


Рис.4. Зоны очага деформации при фрикционно-реверсивной вытяжке эластичным пуансоном по жесткой матрице и схемы напряжений, действующих на каждую из них.

Напряжение в опасном сечении:

$$\sigma_7 = \beta\sigma_{i(1-2)} \ln\frac{r_1}{r_2} + \frac{\tau_{м(1-2)}(r_1^2 - r_2^2)}{2 r_2 s_0} - q_п \frac{r_1}{r_2} - \frac{\tau_п(r_1^2 - r_1^2)}{2 r_2 s_0} +$$

$$+ \frac{\sigma_{i(2-3)} \cdot s_0}{2 r_м + s_0} + \beta\sigma_{i(2-3)} \ln\frac{r_2}{r_3} + \frac{\tau_{м(2-3)} s_{t(2-3)}}{\pi s_0 (2r_3 - s_0)} - \frac{\tau_{п(2-3)} s_{т(2-3)}}{\pi s_0 (2r_3 - s_0)} +$$

$$+ \frac{\tau_{м(3-4)} r_3 \cdot h}{(r_3 - s_{0/2}) s_0} - \frac{2\tau_{п(3-4)} r_4 h}{s_0 (2r_4 + s_0)} + \beta\sigma_{i(4-5)} \ln\frac{r_3}{r_5} + \frac{s_0 \sigma_{i(4-5)}}{2R_{сф} + s_0} +$$

$$+ \frac{\tau_{м(4-5)} \cdot S_{t(4-5)}}{\pi s_0 (2r_5 - s_0)} - \frac{\tau_{п(4-5)} S_{t(4-5)}}{\pi s_0 (2r_5 - s_0)} + \frac{s_0 \cdot \sigma_{i(5-6)}}{2r_{t(5-6)} + s_0} + \beta\sigma_{i(5-6)} \ln\frac{r_5}{r_6} +$$

$$+ \frac{s_0 \cdot \sigma_{i(6-7)}}{2r_{t(6-7)} + s_0} + \beta\sigma_{i(6-7)} \ln\frac{r_6}{r_7}, \qquad (2)$$

где

s_o – исходная толщина заготовки;

q – удельная нагрузка со стороны эластомера;

β – коэффициент Лоде;

$r_м$ – радиус закругления кромки матрицы;

$R_{сф}$ – радиус сферической оболочковой детали;

$S_{t(2-3)}, S_{t(4-5)}$ – площади исследуемых участков;

$r_1, r_2 \ldots\ldots r_7$ – радиусы, определяемые участками сферической оболочки;

$\sigma_{i(1-2)}, \sigma_{i(2-3)} \ldots, \sigma_{i(6-7)}$ – сопротивления деформации (интенсивности напряжений) на различных участках очага деформации сферической оболочковой детали.

$\tau_{м(1-2)}, \tau_{п(1-2)}, \ldots, \tau_{м(4-5)}, \tau_{п(4-5)}$ – напряжения контактного трения.

Теоретически исследовано влияние на интенсивность напряжения в опасной зоне всех основных параметров и факторов, влияющих на эту интенсивность:

- геометрии матрицы;
- интенсивности контактного трения со стороны опорного вкладыша;
- интенсивности контактного трения со стороны эластичной среды;
- интенсивности контактного трения на фланец заготовки со стороны матрицы;
- интенсивности формообразующего давления со стороны эластичной среды;
- геометрии эластичного пуансона;
- характеристик смазочных сред и интенсификаторов трения.

По всем этим режимам в дальнейшем проведены эксперименты с установлением величины напряжения в опасной зоне. На рис. 5 представлены графические зависимости напряжения в опасном сечении от некоторых параметров и управляющих факторов. Для эффективного уменьшения сил внешнего контактного трения на фланце и на вытяжном радиусе матрицы (рис. 5.I.) необходимо приближение режима трения к гидродинамическому подбором смазочных материалов эффективной (оптимальной) вязкости по заданной (известной) скорости деформирования заготовки и величине максимальных контактных давлений на вытяжном радиусе матрицы, а также увеличение положительных сил контактного трения на пуансоне путем тщательного обезжиривания последнего, или применением интенсификаторов трения (канифоли, монокорунда) в сочетании с использованием схем штамповки, обеспечивающих прижатие штампуемой заготовки к пуансону в любой момент формообразования.

Влияние радиуса закругления рабочей кромки матрицы на напряженно-деформированное состояние заготовки, а следовательно на величину утонения стенки можно судить по графику на рис. 5.2. Для уменьшения величины утонения стенки необходимо увеличение радиуса закругления кромки матрицы ($I < \frac{r_м}{s_o} < 8$).

О влиянии исходной толщины заготовки на напряжение в опасном сечении показано на рис. 5.3. Следовательно, чрезмерное утонение стенки сферической оболочковой детали в процессе штамповки-вытяжки ведет к необходимости увеличивать ее толщину для выполнения

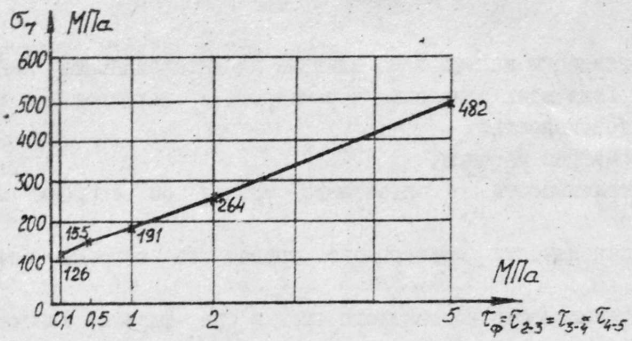


Рис. 5.I. Зависимость меридионального напряжения в опасном сечении от напряжений контактного трения.

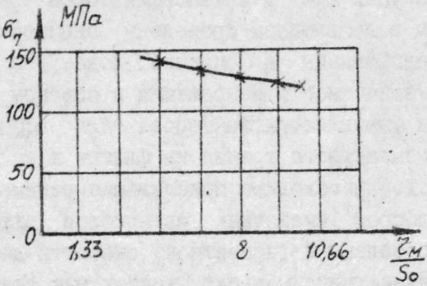


Рис. 5.2. Зависимость меридионального напряжения в опасном сечении от относительного радиуса закругления рабочей кромки матрицы.

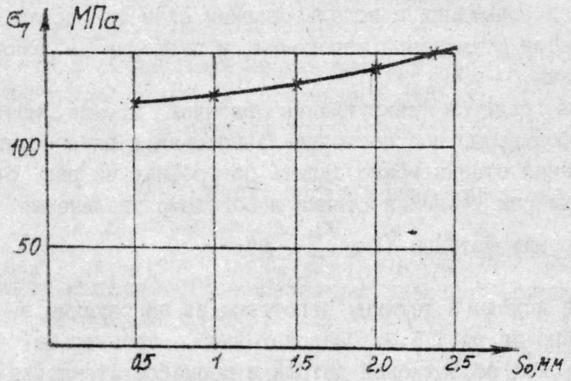


Рис.5.3. Зависимость меридионального напряжения в опасном сечении от исходной толщины заготовки.

требований конструктивной прочности деталей. Это приводит в конечном счете к увеличению расхода металла и массы детали.

Третья глава составляет основное содержание экспериментальных исследований. Исследования проводились на образцах оболочках достаточно больших габаритов (диаметром 150 мм) на алюминиевых сплавах АМцАМ, Д16М и образцах из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, т.е. на материалах, наиболее характерных для авиационно-космических конструкций.

Для проведения экспериментальных исследований использовались гидравлический пресс типа ПСУ-50 0 усилием 5000 кН и экспериментальный технологический блок (контейнер в сборе с матричным блоком), состоящий из матрицы с опорным вкладышем и кольцеобразного эластичного пуансона с металлическим уплотнителем, помещенных в корпус высокого давления.

Изучение деформированного состояния производилось с использованием тангирных сеток. На внутреннюю сторону заготовки наносилась координатная (делительная) сетка с микронной глубиной проникновения острого индентора в поверхность заготовки в виде концентрических окружностей с дистанцией 10 мм и радиальных лучей, делящих заготовку на 8 сектора. У готового образца по искажению диаметра окружности сетки была получена информация для изучения:

- напряженного состояния;
- главных деформаций;
- интенсивностей деформаций, которые в последующем использовались для сопоставления с результатами теоретических исследований при разных режимах нагружения.

Были построены графические зависимости изменения главных деформаций ε_θ, ε_ρ, ε_z и интенсивности деформаций ε_i (Рис.6.1) для различных точек деформируемой заготовки на различных стадиях деформирования, а также графические зависимости изменения деформирующего давления по глубине вытяжки в процессе деформирования (рис.6.2 и 6.3).

Проверка адекватности теоретических исследований по определению напряжений в различных сечениях заготовки в исследуемом процессе показала достаточную достоверность полученных при этом результатов (в пределах 7,3%).

При сопоставлении энергетических затрат установлен режим нагружения с минимумом энергии деформирования - это режим с активным влиянием кольцевого пуансона и с эффективной смазкой со

1578958

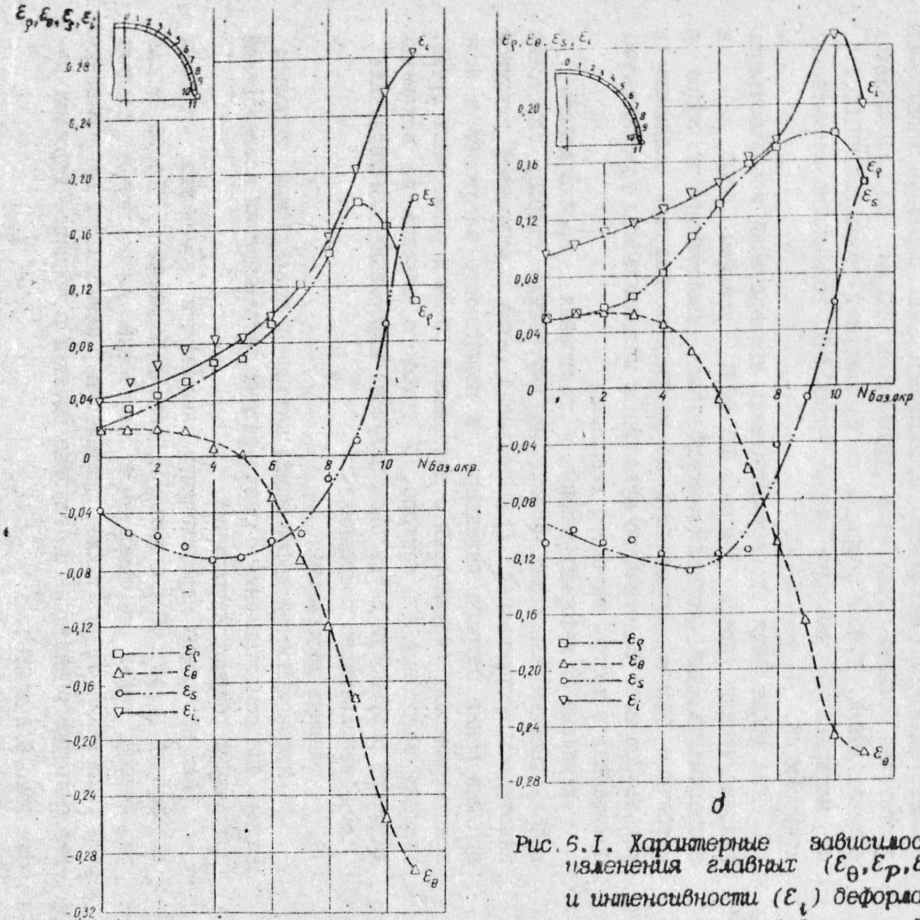


Рис. 6.1. Характерные зависимости изменения главных ($\varepsilon_\theta, \varepsilon_\rho, \varepsilon_s$) и интенсивности ($\varepsilon_i$) деформаций для лучшего (а) и наихудшего (б) режимов вытяжки.

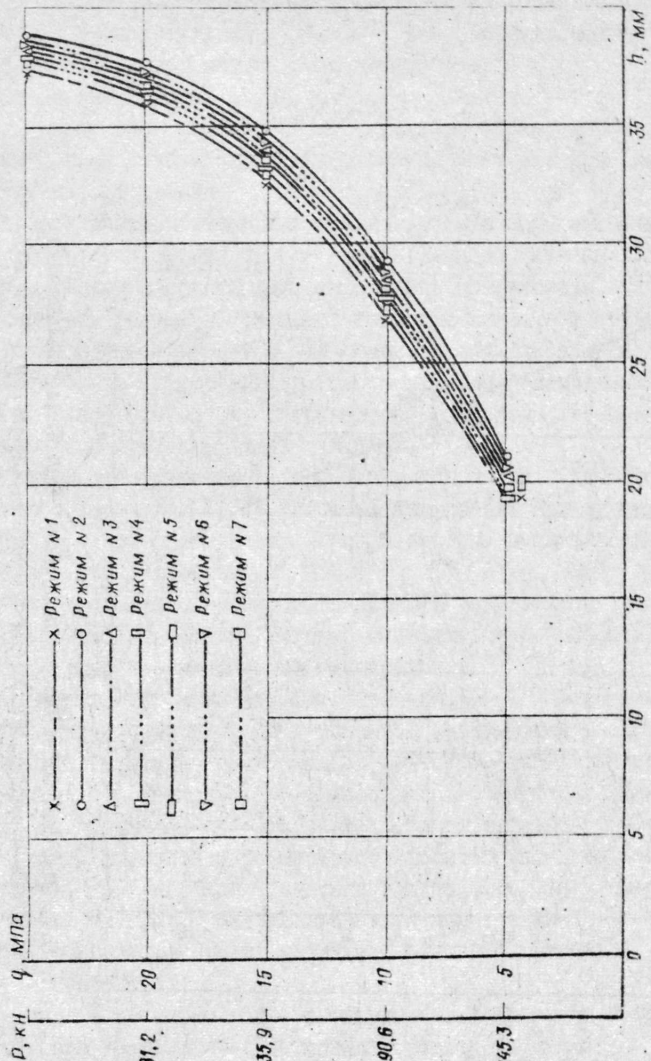


Рис.6.2. Типовые зависимости изменения требуемого давления торможения торцевого гидроцилиндра в функции его глубины для различных режимов вытяжки (АМЦМ, B_0 = 1,6 мм).

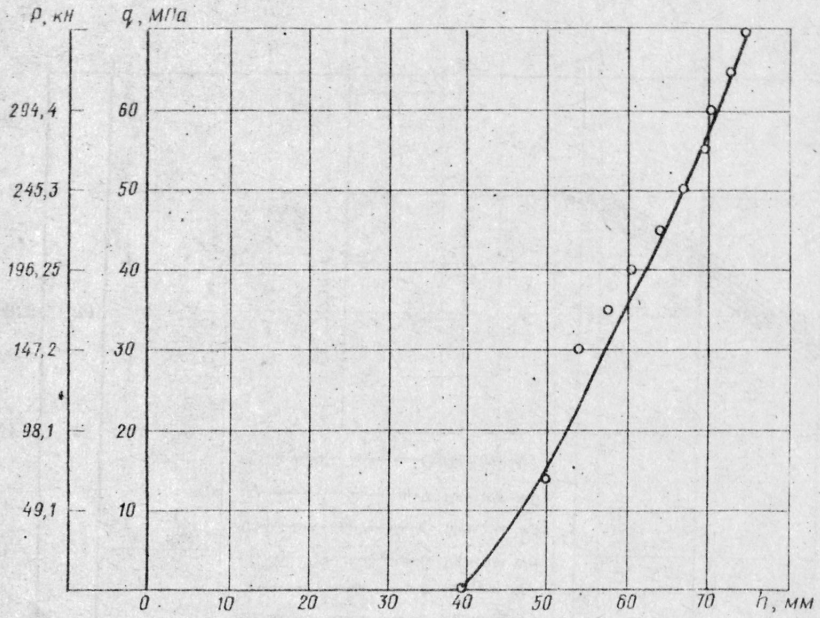


Рис. 6.3. Типовая зависимость изменения давления калибровки (2-я стадия процесса) полусферы (АМцАМ, s_0 = 1,5 мм).

стороны фланца заготовки. Это подтвердило правильность методики при синтезировании нового процесса: определение энергетических затрат по конструкции детали как произведение средней интенсивности напряжений на смещенный объем.

Экспериментальные исследования показали, что наименьшие затраты энергии соответствуют режиму фрикционно-реверсивной вытяжки с применением эффективной смазки оптимальной вязкости и интенсификатора трения.

Эксперименты подтвердили правильность выбора смазочных сред и интенсификаторов трения на основе обобщенного закона контактного трения с учетом скорости деформирования, контактного давления на поверхностях трения, эффективной вязкости смазочной среды.

Установлено также, что лучшими интенсификаторами трения в технологическом отношении и по величинам напряжений трения являются сухое трение и нагруженное гидродинамическое на базе использования монокоррунда и канифоли.

Наибольшее утонение при осуществлении лучшего режима нагружения составило 5,5%. Наибольшее утонение при других режимах - 6-12%, в то время как при штамповке-вытяжке в жестких инструментальных штампах -25-30%.

Четвертая глава посвящена внедрению результатов исследований в производство и анализу технико-экономической эффективности от реализации научно-технических разработок.

Изложенные результаты теоретических и экспериментальных исследований положены в основу разработки практических рекомендаций в виде руководящего технического материала для применения фрикционно-реверсивной вытяжки сферообразных оболочковых деталей с высокими конструктивно-геометрическими параметрами "фрикционно-реверсивное формообразование эластичным пуансоном по жесткой матрице высокоточных сферообразных оболочковых деталей с минимальным утонением стенки".

Рекомендации включают следующие основные разделы:

- назначение;
- изложение сущности нового процесса, краткие теоретические основы и его технологические возможности;
- рекомендации по расчету параметров процесса;
- рекомендации по выбору материалов, расчету геометрии

параметров инструмента;

- рекомендации по выбору смазочных сред и интенсификаторов трения;
- рекомендации по выбору оборудования;
- мероприятия по технике безопасности.

Экономическая эффективность достигается за счет снижения массы сферической оболочковой детали, а также за счет уменьшения затрат на изготовление оболочки и снижения металлоемкости. Ожидаемая экономическая эффективность при внедрении результатов исследований в производство составит 500 000 руб. в год на одну сферообразную оболочку.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Изыскание прогрессивных технологических решений и разработка на их основе практических рекомендаций для промышленности по производству сферообразных оболочковых деталей с минимальным утонением стенки является одной из важных научно-технических проблем, решение которой имеет большое значение для совершенствования изделий авиационно-космической техники.

2. Впервые разработан комплексный технологический процесс фрикционно-реверсивной штамповки-вытяжки на базе исследования напряженно-деформированного состояния оболочки, обеспечивающий наивысшие по сравнению с другими процессами вытяжки технологические возможности по критерию минимизации толщины стенки.

3. Разработаны критерии и функции для количественного анализа напряженно-деформированного состояния в различных зонах сферообразной оболочковой детали при фрикционно-реверсивной штамповке-вытяжке эластичным пуансоном по жесткой матрице.

4. Установлены оптимальные условия протекания процесса фрикционно-реверсивной вытяжки с применением эффективных смазок и интенсификаторов трения, при которых обеспечиваются лучшие технологические возможности процесса по критерию минимального утонения стенки сферообразной оболочковой детали.

5. Посредством прямых экспериментов проведено подтверждение методики формирования оптимальных условий протекания процесса с использованием эффективных смазок и интенсификаторов трения.

6. Корректность полученных зависимостей подтверждена

экспериментально. Максимальное расхождение с теорией не превышает 7.9 %.

7. Для изготовления высококачественных оболочковых деталей из листа с минимальным утонением стенки детали целесообразно изготавливать их фрикционно-реверсивной вытяжкой эластичным пуансоном по жесткой матрице, используя режим нагружения с применением в качестве интенсификатора трения канифоли и мелкодисперстного монокорунда и эффективной смазки оптимальной вязкости.

8. Разработан руководящий технический материал "Фрикционно-реверсивное формообразование эластичным пуансоном по жесткой матрице высокоточных сферообразных оболочковых деталей с минимальным утонением стенки" для использования в промышленности.

9. Ожидаемая экономическая эффективность при внедрении результатов исследований в производство применительно к шаровым емкостям ф 500 мм и толщиной 4 мм аэрокосмического аппарата только в условиях одноразового запуска составит от 44 477 до 299 040 долларов.

10. Определены перспективы дальнейшего совершенствования процесса.

Основные результаты исследований отражены в следующих работах:

1. Жигилий С.В. Интенсификация процессов формообразования сферообразных тонкостенных оболочек с равномерной толщиной стенки - В кн.: Эффективные технологические процессы листовой штамповки. Материалы семинара.- М.: ЦРДЗ, 1993.-С. 133-135.

2. Исаченков Е.И., Жигилий С.В.. Изыскание технологии создания узловых элементов крупногабаритных космических конструкций, собираемых роботом. - Отчет о научно-исследовательской работе. Тема № 61100-09010 $\frac{9390-460}{551-93}$ - М.: МАИ, 1993. - С.36.

3. Жигилий С.В., Исаченков Е.И. Реверсивная штамповка-вытяжка сферообразных деталей с равномерной толщиной стенки. - В кн.: "Прогрессивные технологические процессы, оборудование и оснастка для холодноштамповочного производства". Тезисы докладов. - Самара: ПД НТП, 1994. - С.57-59.

4. Жигилий С.В., Исаченков Е.И. Фрикционно-реверсивное формообразование эластичным пуансоном по жесткой матрице высокоточных сферообразных оболочковых деталей с минимальным утонением стенки.Руководящий технический материал. - В справочнико

"Обработка давлением эластичной средой". Под ред. Е.И.Исаченкова, И.М.Закирова. - М.: Машиностроение. 1995.

5. Заявка на изобретение № 93029034 от 24.06.93. Способ штамповки газожидкостной средой (Жигилий С.В.,Исаченков Е.И.).

6. Жигилий С.В., Исаченков Е.И. Управление напряженно-деформированным состоянием при реверсивной штамповке-вытяжке сферических деталей с равномерной толщиной стенки из листа. - В сб.: Юбилейная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения проф. О.И.Зимина. - М.: МГТУ, 1995.- С. 151-158.

7. Жигилий С.В., Исаченков Е.И. Оценка эффективности режимов трения фрикционно-реверсивной вытяжки эластичной средой по жесткой матрице по величине напряжений в опасном сечении. - В сб.: Отраслевой семинар по прогрессивной технологии в производстве летательных аппаратов. - Химки, 1995.

8. Жигилий С.Е., Исаченков Е.И. Напряженно-деформированное состояние при фрикционно-реверсивной вытяжке сферических оболочковых деталей. - В сб.: Отраслевой семинар по прогрессивной технологии в производстве летательных аппаратов. - Химки, 1995 г.

Подписано к печати 6.10.95. Формат 60x84 1/16. Бумага газетная. Офсет. печать. Объем 1,0 печ.л. Тираж 100 экз. Заказ 92.
Ротапринт ПО"Гомсельмаш"