

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ПРОГРЕССИВНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ПНЕВМОФОРМОВКИ ОДНО- И МНОГОСЛОЙНЫХ ЛИСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

THE SCIENTIFIC EVIDENCE AND ADVANCED INNOVATIVE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF ISOTHERMAL PNEUMATIC ONE - AND MULTILAYERED SHEET DESIGNS

Ларин С.Н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тульский государственный университет», г. Тула

E-mail: Larin_1@rambler.ru

Abstract

The basic results of sheet pieces isothermal deforming processes investigations with allowances made for a anisotropy, mechanical properties, work-hardening, material's rheonomic and plasticity properties in the mode of short-durated creeping conditions are given. On the basis of this processes were worked out scientifically based technological regimes of anisotropic sheet pieces isothermal deforming in the mode of short-durated creeping conditions.

Важнейшей задачей современной промышленности является создание новых ресурсосберегающих технологий, повышение производительности труда и качества продукции. Процессы обработки металлов давлением (ОМД) относятся к числу высокоэффективных, экономичных способов изготовления металлических изделий, позволяющих повысить производительность труда, снизить энергоматериалоемкость производства, обеспечить высокое качество изготавливаемых изделий.

Совершенствование конструкций изделий ответственного назначения определяет применение высокопрочных материалов и изготовление деталей и узлов со специальными, зависящими от условий эксплуатации, характеристиками. К числу наиболее перспективных и принципиально новых технологических процессов, направленных на совершенствование современного производства, относится медленное горячее формоизменение листовых заготовок избыточным давлением газа (пневмоформовка) с предварительной или одновременной диффузионной сваркой.

В настоящее время в узлах летательных аппаратов применяются пирамидальные элементы жесткости, полусферические детали, одно- и многослойные листовые конструкции вафельного фона открытого и закрытого типов, изготовленные из высокопрочных материалов. Технологические принципы формоизменения листовых заготовок избыточным давлением газа могут быть применены в производстве полусферических деталей и однослойных вафельных листовых конструкций, совместно с диффузионной сваркой давлением в изготовлении многослойных листовых конструкций повышенной жесткости, которые нашли широкое распространение в различных отраслях промышленности, например, в несущих узлах летательных аппаратов.

При медленном изотермическом деформировании высокопрочных материалов в зависимости от уровня напряжений, возникающих

в заготовке, и температуры обработки величины пластической деформации и деформации ползучести становятся соизмеримыми, и это обстоятельство необходимо учитывать при расчетах технологических параметров процессов.

Листовой материал, подвергаемый процессам деформирования, как правило, обладает анизотропией механических свойств, обусловленной маркой материала, технологическими режимами его получения, которая может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на устойчивое протекание технологических процессов обработки металлов давлением при различных температурно-скоростных режимах деформирования.

Широкое внедрение в промышленность процессов медленного горячего формоизменения элементов одно- и многослойных листовых конструкций летательных аппаратов сдерживается недостаточно развитой теорией кратковременной ползучести с учетом реальных свойств материала, позволяющей оценить напряженное и деформированное состояние заготовки, кинематику течения материала, предельные возможности формоизменения, силовые режимы и энергозатраты процесса.

Решение этой народнохозяйственной проблемы может быть достигнуто путем максимального использования внутренних резервов деформирования материала путем создания научно обоснованных технологий штамповки, учитывающих анизотропию механических свойств, упрочнение, реономные свойства материала заготовки, условия устойчивого протекания процесса термомеханические режимы формоизменения и другие особенности процессов обработки металлов давлением.

В связи с этим научное обоснование технологических решений изготовления пирамидальных элементов жесткости, полусферических деталей, элементов одно- и многослойных листовых конструкций вафельного

фона из анизотропных высокопрочных материалов в режиме кратковременной ползучести, обеспечивающих повышение эффективности производства и их качества является актуальной, важной научно-технической проблемой, решение которой вносит значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса.

Представлено решение научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение и состоящей в научном обосновании технологических решений изготовления пирамидальных элементов жесткости, полусферических деталей, элементов одно- и многослойных листовых конструкций вафельного фона на основе развития теории деформирования высокопрочных материалов в режиме кратковременной ползучести с учетом анизотропии механических свойств, упрочнения, ползучих и пластических свойств материала, обеспечивающих повышение эффективности их производства с обеспечением заданного качества и надежности эксплуатации. Разработанные технологические процессы обеспечивают снижение металлоемкости, трудоемкости, сокращение сроков производства и повышение эксплуатационных характеристик получаемых изделий.

В процессе теоретического и экспериментального исследований получены следующие **основные результаты и сделаны выводы:**

1. Разработаны феноменологические критерии разрушения (энергетический и деформационный), связанные с накоплением микроповреждений, критерии локальной потери устойчивости (шейкообразования) анизотропного листового материала при плоском напряженном, плоском напряженном и деформированном состояниях при кратковременной ползучести, которые дают возможность при проектировании новых технологических процессов определить предельные степени деформации листового материала в зависимости от условий эксплуатации изготавливаемого изделия.

2. Теоретические исследования операции двухосного растяжения анизотропной листовой заготовки заданной системой напряжений, показали, что учет начальной нормальной анизотропии механических свойств корректирует критическое время разрушения по феноменологическому критерию разрушения и по критерию локальной потери устойчивости листовой заготовки на **50 %** по сравнению с изотропным материалом.

3. Разработаны математические модели операций изотермического формоизменения пирамидальных элементов жесткости, полусферических деталей, свободного и стесненного деформирования (заполнение угловых элементов матрицы) прямоугольных и квадратных элементов вафельных листовых конструкций из высокопрочных трансверсально-изотропных материалов и материалов, обладающих

плоскостной анизотропией механических свойств, в режиме кратковременной ползучести.

4. Выполнены теоретические исследования операций изотермического деформирования пирамидальных элементов жесткости, полусферических деталей, свободного и стесненного деформирования прямоугольных и квадратных элементов вафельных листовых конструкций из высокопрочных анизотропных материалов, подчиняющихся энергетической и кинетической теориям кратковременной ползучести и повреждаемости. Исследованы возможные варианты изотермического формоизменения при известных законах изменения давления (силы) и высоты купола от времени, а также случаи деформирования при постоянной скорости деформации. Теоретический анализ выполнен для групп материалов, поведение которых описывается уравнениями энергетической или кинетической теорий ползучести и повреждаемости.

5. Выявлено влияние технологических параметров, условий нагружения, геометрии рабочего инструмента, условий трения на контактной поверхности заготовки и инструмента на кинематику течения материала, напряженное и деформированное состояния, силовые режимы, предельные возможности формообразования операций изотермического деформирования пирамидальных элементов жесткости, полусферических деталей, свободного и стесненного деформирования прямоугольных и квадратных элементов вафельных листовых конструкций из высокопрочных анизотропных материалов, связанных с величиной накопленных микроповреждений и локальной потерей устойчивости заготовки, в режиме кратковременной ползучести.

Показано, что для обеспечения постоянной эквивалентной скорости деформации в куполе заготовки, закон изменения давления во времени деформирования носит сложный характер:

- в начальный момент формоизменения наблюдается резкий рост давления. Дальнейшее увеличение времени деформирования сопровождается уменьшением величины давления газа. Большим значениям эквивалентной скорости деформации отвечает большая величина максимума давления газа, которая смещается в сторону начала координат;

-рост параметров нагружения и эквивалентной скорости деформации приводит к резкому уменьшению толщины в куполе заготовки и в месте ее закрепления при изотермическом формоизменении куполообразных деталей и свободного деформирования прямоугольных и квадратных элементов вафельных листовых конструкций.

- установлено, что изменение относительной толщины в куполе заготовки происходит более интенсивно по сравнению с изменением относительной толщины в базовых точках. С

ростом времени деформирования эта разница увеличивается и может достигать 50 %.

Установлено, что при изотермическом деформировании куполообразных деталей и свободного деформирования прямоугольных и квадратных элементов вафельных листовых конструкций в режиме вязкого течения материала сначала имеет место локализация деформации с последующим разрушением от накопления микрповреждений. Разрушение заготовки происходит в куполе детали, где имеет место максимальное утонение заготовки. Увеличение параметров нагружения и эквивалентной скорости деформации приводит к уменьшению относительной предельной высоты заготовки и времени разрушения для материалов, поведение которых описывается энергетической теорией ползучести и повреждаемости. Предельные возможности формоизменения при изотермическом деформировании анизотропных материалов, поведение которых описывается кинетической теорией ползучести и повреждаемости, не зависят от условий нагружения заготовки. Установлено, что увеличение параметров закона нагружения сопровождается ростом относительной величины критического радиуса закругления и существенным уменьшением времени разрушения.

6. Показано существенное влияние коэффициентов нормальной и плоскостной анизотропии механических свойств на напряженное и деформированное состояния, геометрические размеры и предельные возможности изотермического формоизменения. Установлено, что неучет анизотропии механических свойств заготовки при анализе процесса изотермического формоизменения куполообразных деталей и деформирования прямоугольных и квадратных элементов вафельных листовых конструкций дает погрешность в оценке времени разрушения порядка 45 %, а относительной высоты и толщины в куполе заготовки в момент разрушения – 30 %.

Установленные закономерности позволили выявить рациональные температурно-скоростные режимы деформирования высокопрочных анизотропных материалов в режиме кратковременной ползучести применительно к исследованным операциям.

7. Выполнены экспериментальные исследования операций изотермического деформирования полусферических деталей, свободного и стесненного деформирования

прямоугольных и квадратных элементов вафельных листовых конструкций из высокопрочных анизотропных материалов в режиме кратковременной ползучести. Сопоставление теоретических и экспериментальных данных по относительной толщине в куполе заготовки и базовых точках, а также относительной высоте заготовки указывает на удовлетворительное их согласование (до 10 %). Экспериментально подтверждены технологические режимы исследованных операций изотермического деформирования одно- и многослойных листовых конструкций в режиме кратковременной ползучести, которые обеспечивают рациональные температурно-скоростные режимы деформирования.

8. Разработаны рекомендации и созданы пакеты прикладных программ для ЭВМ по расчету научно обоснованных технологических параметров операций изотермического деформирования пирамидальных элементов жесткости, полусферических деталей, свободного и стесненного деформирования прямоугольных и квадратных элементов вафельных листовых конструкций из высокопрочных анизотропных материалов в режиме кратковременной ползучести.

9. Разработаны новые технологические процессы изготовления полусферических деталей, элементов вафельных листовых конструкций открытого и закрытого типов с прямоугольными и квадратными полостями, удовлетворяющих техническим условиям эксплуатации (необходимые уровень прочности, коррозионной стойкости и герметичности в заданных условиях) из специальных листовых титановых и алюминиевых сплавов, которые внедрены в опытно-производстве на ФГУП «НПО «Техномаш», ФГУП «НПО «Машиностроение», ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение», ОАО «ГНИТИ», ФГУП «ГНПП «Сплав» и других предприятиях. Технологические процессы обеспечивают: увеличение удельной прочности (раз) - 1,5 ... 1,7; снижение массы (раз) - 1,5; снижение трудоемкости (раз) - 2...3; увеличение КИМ, (с/до) - 0,3/0,9.

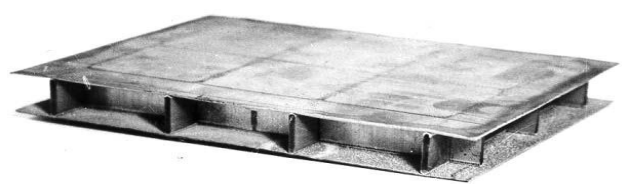
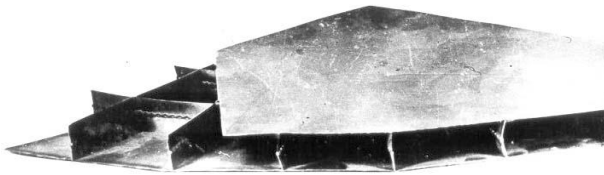
Технологические процессы основаны на выполнении последовательности действий над исходными заготовками на одной рабочей позиции: нагрев, вакуумирование - формообразование - термификация - охлаждение.



а



б



в

Рис. 1 - Образцы деталей ответственного назначения

Образцы деталей ответственного назначения, изготавливаемые изотермической штамповкой в режиме кратковременной ползучести, представлены на рис. 1: а - образцы полусфер из титановых сплавов ВТ14, ВТ23; б - образцы панелей вафельных из алюминиевого сплава АМгб; в - образцы корпусных четырехслойных панелей из титанового ВТ14 и алюминиевого АМгб сплавов.