

Литература

1. Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф., Никитин М.Ю., Типалина А.В. Экспериментальное исследование механических свойств демпфирующего материала / Известия МГТУ «МАМИ» 2010. №1. С. 166-170.
2. Шпунькин Н.Ф., Типалин С.А. Никитин М.Ю. Листовой демпфирующий материал для кузовных деталей. Свойства при сдвиговой деформации/ Автомобильная промышленность, 2010, №10 С.39-40
3. Типалин С.А., Плотников А.С. Влияние клевого соединительного слоя на процесс вытяжки листового многослойного материала / Автомобильная промышленность, 2012, №6 С.33-35.
4. Типалин С.А. Повышение эффективности освоения образовательной программы студентами ВУЗа/ Известия МГТУ «МАМИ» 2012. №2 Том3. С. 444-447.
5. Моргунов Ю.А., Типалин С.А., Филиппов В.В., Хомякова Н.В. Повышение качества подготовки современных специалистов технического профиля за счет улучшения взаимосвязи теоретических и практических занятий при изучении дисциплин/ Известия МГТУ «МАМИ» 2012. №2 том.3 С 441-444.
6. Типалин С.А. Исследование изгиба упрочненного оцинкованного листа / МГТУ «МАМИ» 2012. №2. С.199-204.
7. Артамонова И.В., Горичев И.Г. Экологические особенности удаления отложений с поверхности технологического оборудования / Известия МГТУ «МАМИ». 2009. Т. 1. № 2. С. 220-227.
8. Артамонова И.В., Леснова Л.А., Русакова С.М., Годунов Е.Б. Оценка растворимости солей щелочных металлов / Известия МГТУ «МАМИ».. 2013. Т. 3. № 1. С. 5-8.
9. Типалин С.А. Локализованный изгиб и скручивание оцинкованной полосы при формообразовании швеллера / Известия МГТУ «МАМИ» 2012. №2. С.204-208.
10. Типалин С.А. Экспериментальное исследование процесса выдавливания технологической канавки в оцинкованной полосе / Известия МГТУ «МАМИ» 2012. №2. С.208-213.
11. Типалин С.А., Сапрыкин Б.Ю., Шпунькин Н.Ф. Краткий обзор многослойных листовых деформируемых материалов используемых для защиты от шума / Известия МГТУ «МАМИ» 2012. №2. С.194-199
12. Шпунькин Н.Ф., Типалин С.А. Исследование свойств многослойных листовых материалов / Заготовительные производства в машиностроении 2013 №1 С.28-31.

Вязко-пластическое формообразование полусферических оболочек газом

д.т.н. проф. Соболев Я.А., Петухов И.С.
Университет машиностроения

Анотация. Приведены расчетные зависимости и результаты экспериментальных работ по формообразованию газом сферических оболочек-емкостей.

Ключевые слова: газовая формовка, ползучесть металла, изотермия, напряженное состояние

В энергетических узлах летательных аппаратов применяют емкости из титановых и алюминиевых сплавов. Они предназначены для транспортировки компонентов топлива и могут быть по геометрической форме сферическими, торовыми, цилиндрическими. Для изготовления их корпусов (оболочек) используют технологию штамповки на прессах и механическую обработку резанием. Технология трудоемка и связана с большим расходом материала. В этой связи эффективно применение специальных методов штамповки, одним из которых является горячее формообразование газом. Для этого метода характерно вязкое течение материала, деформация которого увеличивается во времени, достигая большой величины при относительно малых внешних нагрузках. В этой связи расчет давления газа, кинематики

течения, предельных деформаций, прогнозирование факторов разрушения заготовки и, следовательно, качества изделия являются основными технологическими задачами [1-11].

Расчетная схема формообразования сферической оболочки показана на рисунке 1. Механическое состояние деформируемого материала описывается уравнением [1]

$$\sigma_i = k \varepsilon_i^\alpha \xi_i^\beta, \quad (1)$$

где $\sigma_i, \varepsilon_i, \xi_i$ – интенсивности напряжений, деформаций и скорости деформаций в любой точке зоны деформирования материала; α, β, k – температурные константы.

Положим, что на произвольном этапе формообразования скорость движения точек купола определяется выражением:

$$v_r = \frac{h_k}{t_k^2} \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1}\right) t, \quad (2)$$

Здесь φ_1, φ – половина угла раствора оболочки и угол, определяющий положение точки в это время; v_r – скорость точки в радиальном направлении; t, t_k – текущее и конечное время формирования купола; h_k – конечная высота оболочки.

Напряженное состояние заготовки является плоским и компоненты скоростей деформаций и деформаций, следовательно, можно записать, как

$$\xi_\varphi = \xi_\theta = \frac{h_k}{r_1 t_k^2} \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1}\right) t; \quad \xi_s = -2\xi_\varphi \quad (3)$$

$$\varepsilon_\varphi = \varepsilon_\theta = \frac{h_k}{r_1 t_k^2} \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1}\right) t^2; \quad \varepsilon_s = -2\varepsilon_\varphi, \quad (4)$$

где $\varepsilon_\varphi, \varepsilon_\theta, \varepsilon_s, \xi_\varphi, \xi_\theta, \xi_s$ – соответственно деформации и их скорости в точке оболочки в меридиональном и окружном направлениях и по толщине стенки на рассматриваемом этапе.

Интенсивности скоростей деформаций и деформаций, учитывая выражения (3) и (4), запишем в виде:

$$\xi_i = 2\xi_\varphi, \quad \varepsilon_i = 2\varepsilon_\varphi t. \quad (5)$$

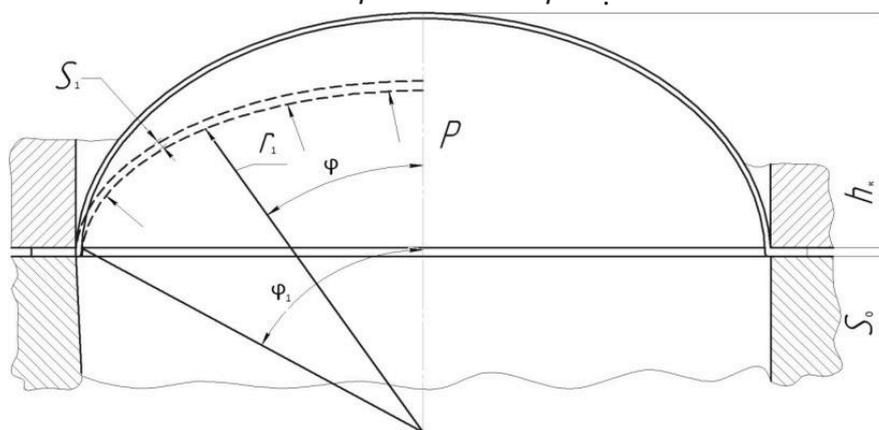


Рисунок 1. Расчетная схема формообразования купола

Если уравнение траектории движения точки купола оболочки $\frac{dr}{dt} = v_r$, то текущая толщина в любой точке стенки на любом этапе:

$$S = S_0 \exp\left(-\frac{h_k}{t_k^2} \frac{\varphi_1 - \varphi}{r_1 \varphi_1} t^2\right), \quad (6)$$

что определяется интегрированием уравнения

$$\varepsilon_s / dt = dS / S dt = -2v_r / r.$$

Интенсивность напряжений определяется уравнением (1) при подстановке выражений (5), т.е.

$$\sigma_i = k \left[\frac{2h_k}{r_1 t_k^2} \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1} \right) \right]^{dt\beta} t^{2\alpha+\beta}, \quad (7)$$

Для оценки давления газа на этапе операции воспользуемся энергетическим методом расчета [3]. Учитывая соотношения (5),(6),(7), запишем энергетическое неравенство:

$$P \int_S V_r ds \leq \int_w \sigma_i \xi_i dw.$$

Отсюда при подстановке соотношений (2), (5) – (7), следует, что:

$$\begin{aligned} P &\leq \int_{\varphi} \frac{1}{V_r} \sigma_i \xi_i S d\varphi \\ &= k S_0 h_k^{\alpha+\beta} \left(\frac{2}{r_1} \right)^{1+\alpha+\beta} \left(\frac{t}{t_k} \right)^{2\alpha+\beta} \int_0^{\varphi_1} \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_1} \right)^{\alpha+\beta} \exp \left[-\frac{h_k t^2}{r_1 \varphi_1 t_k^2} (\varphi_1 - \varphi) \right] d\varphi, \end{aligned} \quad (8)$$

Зависимость (8) определяет давление газа на произвольном этапе формообразования.

При формообразовании происходит потеря сплошности материала заготовки. В вершине купола, где возможно разрушение, интенсивности скоростей деформаций, деформаций и напряжений определяются зависимостями (5) и (7) при $\varphi = 0$. Оценим сплошность материала в этой точке. По энергетической теории здесь

$$\varphi^m d\varphi = -\frac{1}{A_{\text{пр.}}} \sigma_i \xi_i dt,$$

Отсюда получим, что:

$$\varphi = \left\{ 1 - \frac{k(1+m)ct^{2(1+\alpha)+\beta}}{A_{\text{пр.}}[2(1+\alpha)+\beta]} \right\}^{\frac{1}{1+m}}, \quad (9)$$

где $c = \frac{2h_k}{r_1 t_k^2}$.

По деформационной теории

$$\varphi = 1 - \frac{\varepsilon_i}{(\varepsilon_i)_{\text{пр.}}} = 1 - \frac{ct^2}{(\varepsilon_i)_{\text{пр.}}}, \quad (10)$$

Здесь $A_{\text{пр.}}$, $(\varepsilon_i)_{\text{пр.}}$ – соответственно работа внутренних сил к моменту разрушения и предельная интенсивность деформаций. Критические режимы следуют из зависимостей (9), (10) при $\varphi = 0$, $t = t_k$. Отметим, что необходимые для расчета константы уравнений для ряда материалов приведены в работах [1,2]. Формообразование оболочек производилось на гидропрессе в изотермическом блоке. Использовался инертный газ аргон, подаваемый от баллона высокого давления. Температура нагрева титанового сплава составляла 900°C; алюминиевого - 450°C.

Графики давления газа при формообразовании полусферических оболочек диаметром 500 мм из титановых сплавов (типа ВТ14) и алюминиевых (типа АМr6) из листов толщиной 5 мм приведены на рисунке 2.

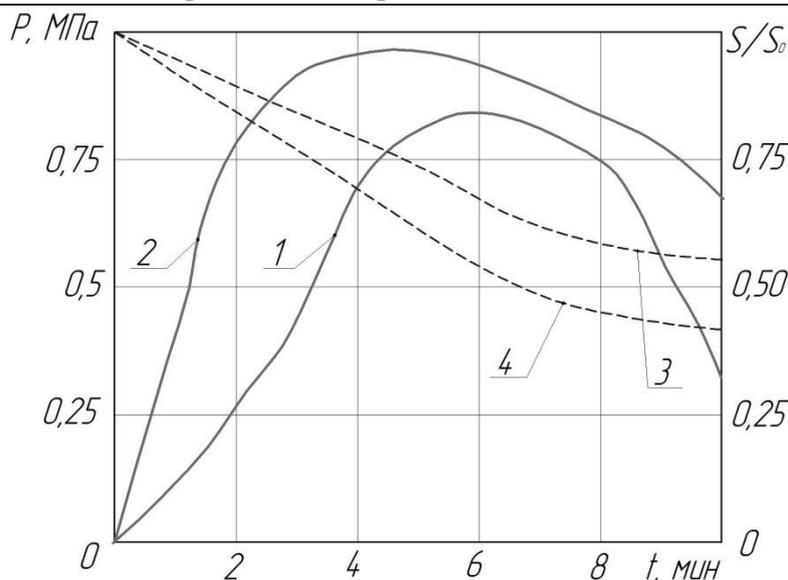


Рисунок 2. Графики давления газа при формовке купола полусферы из сплавов ВТ14 (1), АМг6 (2) и изменения толщины оболочки в куполе из сплавов ВТ14 (3) и АМг6 (4)

На рисунке 3 показаны отформованные заготовки полусферических оболочек из титанового сплава ВТ23 с диаметром полусферы 600 мм, толщиной стенки купола 0,45-0,5 мм (исходная толщина листа 1,5 мм).



Рисунок 3. Полусферические оболочки, отформованные газом

Процесс зависит от скоростных условий обработки (роста давления газа во времени). Увеличение скорости вызывает повышение давления и обуславливает высокую степень неравномерности толщины по образующей. Уменьшение скорости приводит к перегреву, росту зерна металла, накоплению внутренних дефектов. В связи с этим необходимо обеспечивать оптимальную длительность процесса формообразования: для титана – 0,2...0,3 ч, для алюминиевых сплавов – 0,15...0,25 ч. После формообразования осуществляется выдержка во времени под давлением газа (термофиксация полусферы). Имеет место значительная разнотолщинность стенки по образующей на участке от радиуса фланца до центра купола: отношение конечной толщины к исходной s_k/s для оболочек из сплава ВТ23 составляло в среднем 2,5, а для оболочек из сплава АМг6 – 3.

Выводы

1. Оболочки сложных форм из высокопрочных сплавов эффективно изготавливать деформированием газом в условиях ползучести материалов.

2. Технологические режимы процесса (давление, деформации, длительность) и прогнозируемое разрушение при формообразовании устанавливаются на основе методов механики деформируемого тела.

Литература

1. «Изотермическая пневмоформовка анизотропных высокопрочных материалов», Яковлев С.С., изд. М. «Машиностроение», 2009. 352 с.
2. «Механика горячего формоизменения металлов», Романов К.Н., М. «Машиностроение» 1993. 240 с.
3. «Теория обработки металлов давлением», Сторожев М.В., Попов Е.А., М. «Машиностроение» 1977, 423 с.
4. Соболев Я.А., Филиппов Ю.К., Рагулин А.В., Молодов А.В. Исследование различных типов смазки при холодном обратном выдавливании / Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. №2. С.166-170.
5. Типалин С.А., Сапрыкин Б.Ю., Шпунькин Н.Ф. Краткий обзор многослойных листовых деформируемых материалов используемых для защиты от шума / Известия МГТУ «МАМИ» 2012. №2. С.194-199
6. Шпунькин Н.Ф., Типалин С.А. Исследование свойств многослойных листовых материалов / Заготовительные производства в машиностроении 2013 №1 С.28-31
7. Феофанова А.Е. Напряженное состояние листовых заготовок при совмещении формовки элементов с их одноосным растяжением / Вестник машиностроения. 2002. №5. С.67.
8. Калпин Ю.Г., Петров П.А., Бойко Н.А. Совершенствование математической модели сопротивления горячей деформации / Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2007. №12. С. 37-42.
9. Гринберг И.В., Петров П.А., Гневашев Д.А., Воронков В.И. Физическое и конечно-элементное моделирование процесса изготовления тонкостенных оболочек в штампе для выдавливания / Технология легких сплавов. 2010. №2. С.101-106.
10. Ларин С.Н., Соболев Я.А. Двухосное растяжение анизотропной листовой заготовки в режиме кратковременной ползучести / Известия Тульского Государственного университета. Технические науки. 2011. № 5-3. С.151-160.
11. Чудин В.Н., Ларин С.Н., Яковлев С.С., Соболев Я.А. Оборудование для изотермической пневмоформовки высокопрочных материалов в режиме кратковременной ползучести / Известия Тульского Государственного университета. Технические науки. 2010. № 3. С.46-50.

Расширение технологических возможностей и преимуществ предварительного профилирования выпуклыми вставками в процессе горячей объёмной штамповки поковок пластин

к.т.н. доц. Кухарь В.В., Николенко Р.С., Суглобов Р.В.
ГВУЗ «ПГТУ», Украина

Аннотация. В представленной работе выполнены сравнительные исследования на основе моделирования технологических процессов штамповки детали типа «плита подвижная» по базовой заводской технологии, используемой на ЗАО «Азовэлектросталь» (г. Мариуполь, Украина), и новой, предложенной по результатам предварительно проведённых исследований и разработанных рекомендаций.

Ключевые слова: поковка, пластина, профилирование, объёмная штамповка, моделирование, выпуклые плиты.

В настоящее время в отечественной промышленности большое внимание уделяется модернизации старых и разработке новых технологических процессов с внедрением энергоэкономичных и металлосберегающих технологий. Не исключением является и отрасль кузнечно-штамповочного производства, обладающая огромным потенциалом для реализации прин-