

УДК 621.762

Канд. техн. наук Е. С. Корчак, А. А. Андреев

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА АВТОФРЕТИРОВАНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОСТАТОВ

Рассмотрены принципиальные особенности конструкции и условий эксплуатации контейнеров промышленных газостатов. На основе конечно-элементного моделирования и аналитических зависимостей исследовано влияние процесса автофретирования на прочностные характеристики многослойных контейнеров промышленных газостатов.

Ключевые слова: газостат, автофретирование, втулка, контейнер, давление.

Актуальность исследований

На сегодняшний день необходимость в производстве деталей из порошковых материалов значительно возросла, что дало толчок к развитию данных технологий и, соответственно, машин для производства изделий из порошковых материалов. Один из видов такого оборудования – газостаты, позволяющие одновременно спекать и спрессовывать заготовку, что дает возможность получать изделия широкого спектра свойств путем горячего изостатического прессования (ГИП) [1].

Развитие технологий получения изделий путем ГИП требует постоянного увеличения как рабочего давления, так и объема рабочей камеры – контейнера – для достижения уникальных технических характеристик обрабатываемых материалов [2]. В связи с этим создание контейнеров рациональной конструкции, обеспечивающих надежную и долговечную эксплуатацию, является важной задачей при создании промышленных газостатов.

Постановка цели исследований

Как правило, рабочие контейнеры газостатов изготавливают многослойными, состоящими из нескольких тонкостенных втулок, собранных по посадке с натягом. Поверх наружной втулки наносится многослойная ленточная обмотка для компенсации напряжений, возникающих в контейнере под воздействием рабочего давления. С торцов контейнер закрывается массивными стальными пробками [3]. Очень важным при изготовлении втулок является подбор материала таким образом, чтобы при действии рабочего давления и температуры не проявлялся эффект ползучести, а напряжения, возникающие в стенках контейнера, не превышали предела текучести материала втулок.

В данной статье будет рассмотрен вариант использования явления автофретирования для повышения прочности контейнера при неизменных габаритах кон-

струкции, влияние посадок с натягом на прочность контейнера, также будет рассмотрена возможность получения автофретирования между втулками за счет посадки с натягом [4, 5]. Это позволит использовать более высокие давления прессования без утяжеления конструкции. Также данное явление можно использовать для улучшения прочностных свойств, а значит, и повышения надежности контейнеров газостатов [6, 7].

Методика исследований

Явление автофретирования можно получить как в многослойных оболочковых формах, так и в сплошных. В случае многослойных контейнеров, состоящих из оболочковых форм, автофретирование может проявиться в виде пластической деформации внутренних волокон одной из втулок, но при этом направление возникающих в волокнах напряжений должно быть противоположно направлению напряжений, возникающих в результате действия рабочего давления. В противном случае произойдет разупрочнение конструкции. Данная пластическая деформация повлечет за собой появление остаточных напряжений, а также деформаций во внутренних волокнах, которые будут распирать внешние волокна, упруго деформируя их. Это приведет к возникновению напряжений, противоположно направленным течению пластической деформации. Данные напряжения позволят создать между втулками дополнительные напряжения, которые, в свою очередь, увеличат прочность собранных оболочковых форм. Однако как недостаток, в итоге получаем неразборную конструкцию с постоянными внутренними напряжениями [6, 7].

Для получения явления автофретирования между втулками контейнера с использованием посадки с натягом важным является порядок сборки контейнера [3]. Обычно сборка начинается с сопряжения средней и внутренней втулок (рис. 1), после устанавливается вне-

шняя втулка. Данная последовательность исключает появление автофретирования посредством посадки с натягом. Оно может возникнуть только по поверхности контакта внутренней и средней втулок путем нагружения контейнера давлением, значительно превышающим рабочее. Получить автофретирование по поверхности контакта внешней и средней втулок невозможно, поскольку после сборки средней и внутренней втулки, по наружной поверхности средней втулки нарезаются канавки для последующего (в процессе эксплуатации газостата) подвода охлаждающей жидкости к контейнеру и, соответственно, внешние волокна срезаются, что влечет за собой потерю сжимающих напряжений [8].

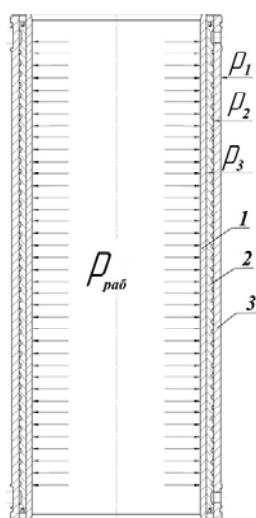


Рис. 1. Схема многослойного контейнера с распределением удельных давлений:

1 – внутренняя втулка; 2 – средняя втулка; 3 – внешняя втулка

Также возможно использование альтернативного способа сборки контейнера, который позволит получить автофретирование по двум поверхностям сразу посредством посадки с натягом. Последовательность будет начинаться со сборки вначале внешней и средней втулок, в результате чего по поверхности их контакта возможно возникновение автофретирования. Далее на внутренней поверхности средней втулки протачиваются канавки для охлаждения контейнера – в данном случае механическая обработка не срезает напряженные волокна. После этого запрессовывается внутренняя втулка, а по поверхности контакта внутренней и средней втулок возможно образование автофретирования.

Для исследования влияния посадок между втулками на прочностные свойства многослойного контейнера (рис. 1) использовали конечно-элементное моделирование его напряженно-деформированного состояния. При этом учитывали бандажирующую нагрузку (p_1), которая возникает в результате действия предварительно натянутой ленты на поверхность внешней втулки, и напряжения (p_2, p_3), возникающие в результате посадки с натягом.

Вид посадок будет в первую очередь определять прочностные свойства контейнера в сборе. Для исследования влияния напряжений, возникающих в результате посадки с натягом, на прочность контейнера будут использованы три посадки с натягом, Н8/г7, Н8/с7 и Н8/у7.

В качестве базового выбран промышленный газостат с контейнером ранее описанной конструкции и следующими техническими параметрами [3]:

- рабочее давление – 200 МПа;
- максимальная рабочая температура – 2295 °С;
- рабочий газ – азот;
- габариты рабочего пространства – диаметр 320 мм, высота 700 мм.

При исследованиях конечно-элементному моделированию подвергали 1/4 многослойного контейнера вследствие его объемной симметрии. На рис. 2. представлена конечно-элементная сетка.



Рис. 2. Конечно-элементная сетка многослойного контейнера: а – внутренняя и средняя втулки; б – средняя и внешняя втулки

Анализ полученных результатов

По результатам конечно-элементного моделирования получены эпюры напряжений для трех посадок, представленные на рис. 3–5.

При анализе полученных результатов необходимо отметить следующее. Повышенными значениями напряжений, возникающими по нижнему и верхнему краям втулок, пренебрегаем, т. к. поверхности их контакта с поверхностями крышек контейнера принимаются неподвижными. При дальнейшем анализе эти значения не будут учтены.

Как видно из полученных эпюр (рис. 3–5), с ростом натяга возрастают и напряжения между втулками. Это позволяет скомпенсировать действующую от технологического процесса нагрузку, изменив действующие растягивающие напряжения сжимающими.

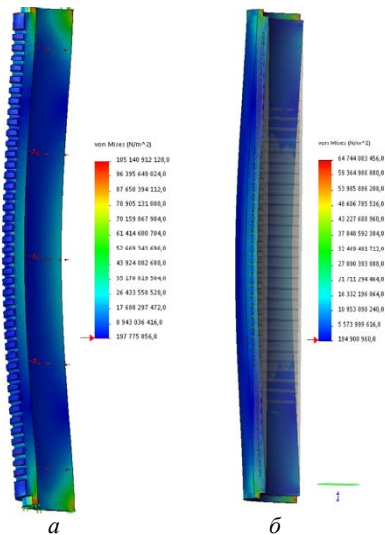


Рис. 3. Эпюра напряжений при посадке Н8/т7:
а – внутренняя и средняя втулки; б – средняя и внешняя втулки

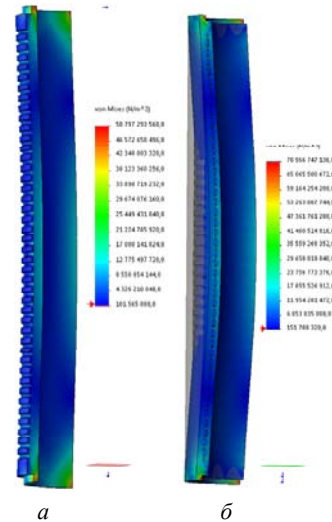


Рис. 5. Эпюра напряжений при посадке Н8/у7:
а – внутренняя и средняя втулки; б – средняя и внешняя втулки

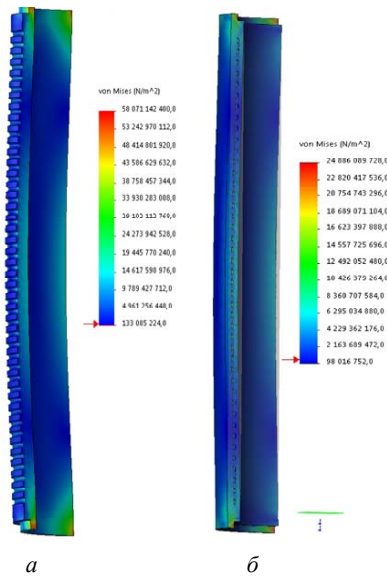


Рис. 4. Эпюра напряжений при посадке Н8/с7:
а – внутренняя и средняя втулки; б – средняя и внешняя втулки

Для анализа возможности появления эффекта автофретирования между втулками в результате посадки с натягом необходимо рассчитать значения напряжений, необходимых для появления автофретирования по следующим формулам [6, 7].

Рассчитаем допустимое давление:

$$[p] = \sigma_t^{340} \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right), \quad (1)$$

где $\sigma_t^{340} = 1000$ МПа – предел текучести стали 38ХНЗМФА при температуре 340 °С;

D, d – внешний и внутренний диаметры втулки соответственно.

Расчетные значения допустимых давлений составляют:

- 217 МПа для всего многослойного контейнера, рассматриваемого как целая втулка;
- 71 МПа для внешней втулки;
- 116 МПа для сборки из внешней и средней втулки.

Данные значения справедливы для использования при альтернативном варианте сборки, т. е. от внешней втулки к внутренней.

Рассчитаем минимальное давление автофретирования:

$$p_a^{\min} = 1,1 p_{ucn}, \quad (2)$$

где p_{ucn} – давление, при котором испытывают на прочность контейнер, если автофретирование должно возникнуть на поверхности контакта между втулками.

Величина минимального давления автофретирования составляет:

- 275 МПа для всего контейнера;
- 78,1 МПа для внешней втулки;
- 127,6 МПа для сборки внешней и средней втулок.

Рассчитаем максимально необходимое давление для автофретирования:

$$p_a^{\max} = \frac{\lambda^{20} \cdot \sigma_b^{340} \cdot \ln(\beta_p)}{1,5} = \frac{1 \cdot 1100 \cdot 2,1}{1,5} = 544 \text{ МПа}, \quad (3)$$

где $\lambda^{20} = 1$ – показатель для сталей с $\sigma_t / \sigma_b = 0,9$;

$\sigma_b^{340} = 1100$ МПа – предел прочности стали 38ХНЗМФА при температуре 340 °С;

$\beta_p = 2,1$ – факторный коэффициент.

Для определения появления явления автофретирования необходимо знать напряжения, возникающие

между втулками в результате посадок с натягом. Данные значения приведены в графиках на рис. 6–7, отображающих значения напряжений в зависимости от посадки и возникающего в результате ее натяга. Последовательность использованных посадок следующая: Н8/r7, Н8/s7, Н8/u7.

Исходя из полученных графиков (рис. 6–7), можно утверждать, что явление автофреттирования между средней и внешней втулками возникает при посадке Н8/u7, поскольку значение напряжения 136 МПа входит в интервал 71...544 МПа. Между средней и внутренней втулками необходимо использовать также посадку Н8/u7, при которой давление между втулками составляет 143 МПа, что входит в интервал 143...544 МПа. Следовательно, условие возникновения автофреттирования также выполняется.

Получение автофреттирования на внутренней поверхности внутренней втулки возможно только в случае пластической деформации внутренних волокон под продолжительным действием рабочего давления или при намеренном кратковременном повышении давления внутри рабочего контейнера до 275 МПа и выше.

Выводы

1. С ростом натяга между втулками вероятность возникновения явления автофреттирования возрастает.
2. Автофреттирование повышает прочность многослойного контейнера.
3. Возможность получения явления автофреттирования между втулками многослойного контейнера посредством посадок с натягом подтверждена расчетами.

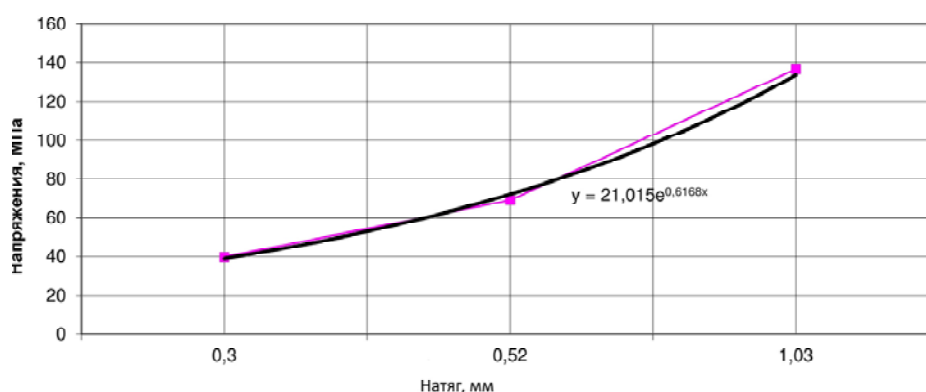


Рис. 6. Напряжения, возникающие в результате посадок с натягом между средней и внешней втулками

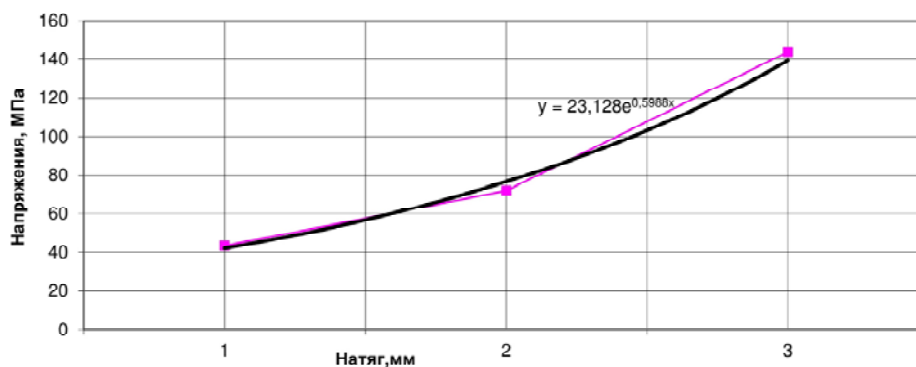


Рис. 7. Напряжения, возникающие в результате посадок с натягом между средней и внутренней втулками

Список литературы

1. Гарибов Г. С. Газостаты ВИЛСа / Г. С. Гарибов, Т. Ю. Глюстен // Заготовительные производства в машиностроении. – М. : Машиностроение, 2010 – № 7. – С. 28–32.
2. Корчак Е.С. Пути совершенствования конструкций контейнеров промышленных газостатов / Е.С. Корчак, О.А. Ковалева // Заготовительные производства в машиностроении. – М. : Машиностроение, 2014. – № 9. – С. 28–30.
3. Андреев А. А. Разработка методики сборки рабочих контейнеров промышленных газостатов / А. А. Андреев, Е. С. Корчак // Научный вестник ДГМА. – ДГМА, 2015. – № 1 (16Е). – С. 31–36.
4. Автофреттирование как способ повышения прочности труб, работающих при давлениях до 250 МПа в условиях температурных перепадов / [С. Г. Комаишко, М. В. Моисей, В. Я. Дмитриев и др.] // Обработка материалов давлением. – ДГМА, 2012. – № 1 (30). – С. 243–249.

5. Львов Г. И. К расчету процессов автофретирования толстостенных цилиндров с учетом повреждаемости материала / Г. И. Львов, О. О. Ожога-Масловская // Сборник научных трудов «Вестник НТУ «ХПИ»: Машинознание и САПР – Вестник НТУ «ХПИ», 2010. – № 19. – С. 105–112.
6. Gibson Michael C. Determination of Residual Stress Distributions in Autofrettaged Thick-Walled Cylinders : Ph.D. Thesis / Michael C. Gibson. – Cranfield University, 2008. – 302 p.
7. Anthony P. Parker Autofrettage of Open-End Tubes – Pressures, Stresses, Strains, and Code Comparisons / Anthony P. Parker // Journal of Pressure Vessel Technology, 2001. – Vol. 123. – P. 271–281.
8. Андреев А. А. Автофретирование как эффективный способ повышения прочности многослойных контейнеров / А. А. Андреев, Е. С. Корчак // Матеріали Всеукраїнської науково – практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу», випуск 2. – Херсон : ХНТУ (факультет машинобудування), 2015. – 89 с.

Одержано 17.03.2015

Корчак О.С., Андреев О.А. Дослідження впливу процесу автофретування на характеристики міцності багатопарових контейнерів промислових газостатів

Розглянуті принципові особливості конструкції та умов експлуатації контейнерів промислових газостатів. На основі кінцево елементного моделювання та аналітичних залежностей досліджено вплив процесу автофретування на характеристики міцності багатопарових контейнерів промислових газостатів.

Ключові слова: газостат, автофретування, втулка, контейнер, тиск.

Korchak E., Andreev A. Investigation of autofrettage process effect on strength characteristics of HIP-machines multi-layers containers

Special features of construction and operating conditions of HIP-machines containers are considered. On the basis of finite element modelling and analytical functions effect of autofrettage process on strength characteristics of HIP-machines multi-layers containers is investigated.

Key words: HIP-machine, autofrettage, bush, container, pressure.
