

размере.

По сравнению с прокатом, изготовленным по действующей технологии и по схеме 2, калиброванный прокат по технологической схеме 2 обладает значительно меньшим сопротивлением пластической деформации ($\sigma_{0,2} = 420$ МПа и более высокой пластичностью $\psi = 75\%$), а также более низкой твердостью – НВ 194).

Калиброванный прокат, изготовленный по технологической схеме 2, имеет более равномерную и мелкодисперсную микроструктуру, обезуглероженный слой отсутствует.

После отжига ТВЧ на поверхности калиброванного проката возникал незначительный налет окислов, который удалялся при травлении в течение нескольких секунд.

Калиброванный прокат, изготовленный по технологической схеме 2, обладает высокой способностью к холодному пластическому деформированию. Кроме того, предлагаемый технологический процесс экологически более чистый.

Разработка и исследование технологических возможностей изготовления двухслойных сферических пробок шаровых кранов из трубных заготовок способами обжима

к.т.н. проф. Агеев Н.П., Малых Ф.М., Дубицкий К.О.

БГТУ «Военмех»

8(812)2518467, 89533636086, e462@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены актуальность применения конструкций двухслойных сферических пробок шаровых кранов, а также преимущества технологий их изготовления, основанных на процессах штамповки, над традиционными способами. В ходе проведения экспериментального исследования выявлена технологическая возможность их изготовления способами обработки металла давлением из трубных заготовок, разработаны рекомендации по соотношению наружного и внутреннего слоя сферической оболочки пробки шарового крана.

Ключевые слова: шаровой кран, сферическая пробка, трубные заготовки, соотношение толщин слоев.

В настоящее время при возникновении необходимости транспортировки жидких и газообразных сред шаровые краны востребованы практически во всех отраслях производства. Благодаря совокупности качеств, выгодно отличающих этот вид запорной трубопроводной арматуры от других, шаровые краны нашли широкое применение в промышленности общего назначения, при добыче, переработке и транспортировке нефти и газа, в тепловых и атомных электростанциях, в криогенной промышленности и судостроении.

В зависимости от области применения шаровых кранов, транспортируемые среды существенно различаются между собой вязкостью и степенью загрязненности: это среды, нейтральные к материалам затвора (пар, воздух, вода), в отдельных случаях агрессивные кислоты, щелочи, горючие жидкости, а также абразивные, токсичные и ядовитые.

Причиной популярности данного вида запорной трубопроводной арматуры являются такие качества, как простота конструкции, высокая и надежная герметичность запорного узла, а также простая форма проточной части и отсутствие в ней застойных зон.

Широкое разнообразие условий эксплуатации, транспортируемых сред, требований, предъявляемых к шаровому крану, является причиной возникновения различных конструктивных исполнений этого вида запорной трубопроводной арматуры. Так, по типу присоединения стальные шаровые краны подразделяются на резьбовые, фланцевые и под приварку.

Анализируя конструкции отдельных элементов шаровых кранов, следует отметить возможность изготовления и сборки способами холодной штамповки не только сферической пробки, но и корпуса крана [1].

Запорным органом шарового крана является сферическая пробка, к которой предъявляются жесткие требования по отклонению поверхности от сферичности, твердости и шеро-

ховатости поверхности.

Основными и наиболее распространенными способами изготовления кранов с диаметром условного прохода до $Dy=200$ мм являются: точение пробки из круглого проката на металлорежущих станках (рисунок 1, а), ковка или литье. Данные способы характеризуются низким коэффициентом использования металла, высокой трудоемкостью и наличием излишков массы.

В конструкциях кранов с условным диаметром до $Dy=200$ мм пробка изготавливается сплошной, с Dy более 200 мм – пустотелой, состоящей из сферической оболочки и сваренной в ее полость трубы, образующей проход. Сферическая оболочка может быть выполнена из сваренных между собой полусфер, изготавливаемых вытяжкой из листового материала. Изготовление пробки до $Dy=200$ мм сплошной, а не сварной вызвано технологическими трудностями [2].

Оригинальной по своему конструктивному исполнению является пробка шарового крана, представляющая собой сферическую оболочку с установленным проходным патрубком для транспортируемой среды (рисунок 1, б). В результате экспериментальных исследований, выполненных на кафедре обработки металла давлением БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, доказана технологическая возможность изготовления рассматриваемого конструктивного исполнения шаровой пробки способами холодной штамповки из трубных заготовок. Описание предлагаемого способа, включая рекомендации по необходимым технологическим расчетам, приведено в патенте [3].

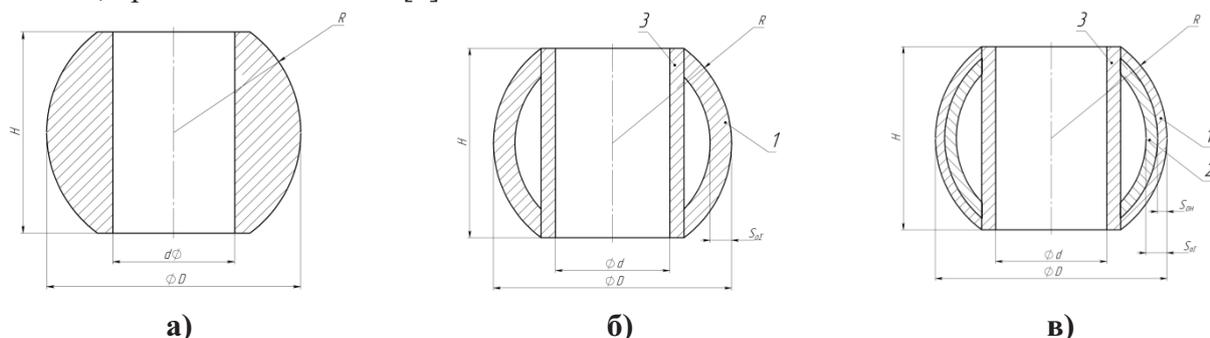


Рисунок 1. Эскизы сплошной (а), полый 1-слойной (б) и 2-слойной (в) сферических пробок шарового крана: 1 – внешняя оболочка; 2 – внутренняя оболочка; 3 – проходной патрубок

Рассматриваемая конструкция, изготавливаемая способами холодной штамповки из трубных заготовок по патенту [3], за счет наличия полости между внутренней поверхностью сферической оболочки (рисунок 1, б, поз. 1) и наружной поверхностью патрубка (рисунок 1, б, поз. 3) обладает пониженными массовыми характеристиками, что выгодно ее отличает от сплошных конструкций, полученных в результате обработки резанием или с применением литья (рисунок 1, а). В то же время, применение трубного сортамента в качестве исходных заготовок способствует значительному повышению КИМ за счет уменьшения отхода, а формообразование сферической оболочки способами обжима позволяет получить благоприятную структуру материала.

В силу широкого разнообразия областей применения шаровых кранов, технология изготовления сферической пробки должна удовлетворять предъявляемым требованиям по отклонению формы, шероховатости и твердости поверхности, а также, в ряде случаев, обеспечивать коррозионную и эрозионную стойкость. Именно эксплуатационные требования по коррозионной и эрозионной стойкости в сочетании с экономической эффективностью являются причиной создания конструкции пробки шарового крана, представляющей собой двухслойную металлическую оболочку, внешний слой и проходной патрубок которой выполнен из коррозионно- и эрозионностойкого материала, а внутренний – из обычной конструкционной стали (рисунок 1, в). Описание способа изготовления сферической пробки, приведенное в патенте [3], включает также и возможность изготовления многослойной сферической пробки путем одновременного холодного деформирования нескольких трубных заготовок из раз-

личных материалов.

В связи с этим поставлена задача по разработке и исследованию технологических возможностей изготовления 2-слойных сферических пробок шаровых кранов диаметрами до $D_u=200$ мм из трубных заготовок способами обжима.

Объектом исследования является 2-слойная сферическая пробка шарового крана с условным проходным диаметром $D_u=25$ мм и условным давлением $P_u=1,6$ МПа.

Материалом внешнего слоя сферической пробки и проходного патрубка является сталь 12X18H10T. При этом внутренний слой сферической пробки выполнен из стали 10. Необходимость применения дорогостоящей стали 12X18H10T продиктована требованиями по коррозионной стойкости запорного элемента шарового крана, однако за счет этого возрастает и себестоимость изготовления сферической пробки. По этой причине представляется целесообразным применение минимальной толщины трубного сортамента, необходимого для обеспечения коррозионной стойкости. В то же время, использование стандартных рядов типоразмеров исходных трубных заготовок, регламентированных государственными стандартами для холоднодеформированных бесшовных труб [4, 5], повышает технологичность конструкции за счет обеспечения стандартизации и унификации.

Поэтому важной задачей исследования является определение оптимального соотношения толщин стенок наружной и внутренней оболочек шаровой пробки.

По этой причине в рамках проводимого экспериментального исследования представляется целесообразным выявление оптимального соотношения толщин внешнего и внутреннего

слоя сферической пробки $\delta_{SH} = \frac{S_{OH}}{S_{\Sigma}} * 100\%$ $\delta_{SH} = \frac{S_{OH}}{S_{\Sigma}} * 100\%$ (рисунок 1, в), где

S_{OH} – толщина наружной оболочки;

$\delta_{SH}+S_{OH}+S_{OV}$ - суммарная толщина внешнего и внутреннего слоя двухслойной оболочки сферической пробки.

Это соотношение толщин должно удовлетворять следующим требованиям:

1. Обеспечение устойчивости и прочности сферической пробки при воздействии внешнего давления транспортируемой среды.

2. Соотношение толщин должно обеспечивать отсутствие зазора между внешней и внутренней оболочкой в момент окончательного формообразования сферической пробки.

3. Ввиду высокой себестоимости коррозионностойкого трубного сортамента, толщина внешнего S_{OH} слоя S_{OH} двухслойной сферической пробки принимается минимально необходимой для обеспечения требований по коррозионной и эрозийной стойкости.

4. В соответствии с государственными стандартами [4, 5] целесообразно использование регламентированного ряда типоразмеров внешнего и внутреннего слоев, а также проходного патрубка.

Принятые при проведении исследования соотношения толщин и размеры исходных трубных заготовок даны в таблице 1.

Таблица 1

Соотношения толщин и типоразмеры исходных трубных заготовок

Значение относительной толщины $\delta_{SH}, \%$	$S_{OH}, \text{ мм}$	$D_{\text{нар}}, \text{ мм}$	$D_{\text{вн}}, \text{ мм}$
50	2,25	48	42,5
44	2	48	44
33	1,5	48	45
22	1	48	46

На рисунке 2 приведена технологическая схема формообразования сферической пробки составной конструкции с проходным отверстием, а также вид отштампованного натурального образца.

Исследование технологической возможности изготовления данной конструкции способами штамповки, произведенное с помощью компьютерного моделирования методом конечных элементов, позволяет выявить проблематику отдельных этапов процесса изготовления и возникающие при формообразовании дефекты, осуществить оценку качества штампуемых деталей, произвести анализ силовых параметров процесса и НДС исследуемых заготовок без необходимости изготовления дорогостоящей штамповой оснастки.

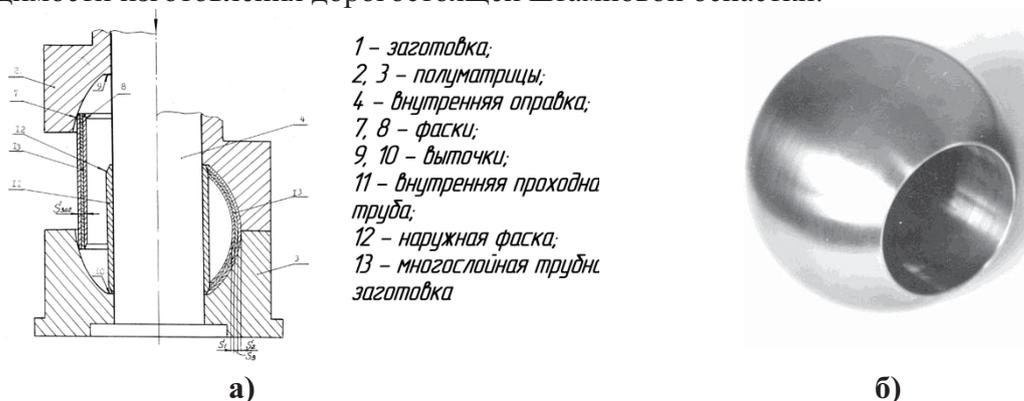


Рисунок 2. Схема процесса формообразования сферической пробки составной конструкции (а) и вид отштампованного образца (б)

В ходе экспериментального исследования произведено компьютерное моделирование методом конечных элементов процесса формообразования 2-слойной сферической пробки шарового крана с проходным диаметром D_{y25} с различными соотношениями толщин (таблица 1).

В соответствии с требованиями по обеспечению отсутствия зазора между внешней и внутренней оболочкой, произведен анализ распределения нормальных напряжений на наружной поверхности внутренней оболочки. Для этого на цилиндрическую образующую исходной трубной заготовки нанесены расчетные точки (рисунок 3, а).



Рисунок 3. Расположение расчетных точек на наружной поверхности внутренней оболочки: а) до деформирования; б) после деформирования

Следует отметить, что наличие зазора между наружной и внутренней оболочкой при анализе напряженного состояния свидетельствует о свободной поверхности ($\sigma_n=0$) деформируемых заготовок. В то же время, максимальные по модулю отрицательные значения нормальных напряжений в каждой расчетной точке являются следствием плотного прилегания внешней оболочки к внутренней по всей высоте заготовки (т.е. отсутствием зазора). На рисунке 4 приведены графики распределения нормальных напряжений в расчетных точках для каждого рассматриваемого соотношения толщин слоев.

Анализ графика выявил:

1. При соотношении толщин $\delta_{SH} = 22\%$ обеспечивается минимальная толщина внешнего слоя, однако значения нормальных напряжений в некоторых рассматриваемых точках экваториальной части близки к 0 (точки 8, 9, 12, 13, 14), что свидетельствует о вероятности наличия зазора между оболочками. Подобная динамика выявлена при соотношении толщин

$\delta_{SH} = 33\%$.

2. При соотношении толщин $\delta_{SH} = 44\%$ значения нормальных напряжений во всех рассматриваемых точках отрицательны, что свидетельствует об отсутствии зазора между оболочками по всей площади контакта. В то же время, анализ напряженного состояния показывает равномерное распределение значений σ_n по высоте заготовки, что является предпочтительным, учитывая условия эксплуатации сферической пробки.

3. При соотношении толщин $\delta_{SH} = 50\%$ наблюдается неравномерность распределения значений σ_n по высоте заготовки, а также избыточная толщина внешнего слоя.



Рисунок 4. Распределение значений нормальных напряжений на наружной поверхности внутренней заготовки в момент окончательного формообразования

Заключение

В результате исследования установлен характер формообразования двухслойной оболочки сферической пробки с оценкой влияния соотношения толщин стенок наружной и внутренней оболочки на качество их сопряжения, напряженно-деформированное состояние, силовые параметры и качество поверхности с определением оптимальных геометрических параметров исходных трубных заготовок, рекомендуемых для производства.

Анализ напряженного состояния позволил выявить, что минимальная вероятность наличия зазора между наружной и внутренней оболочкой наблюдается при соотношении толщин $\delta_{SH} = 44\%$. Следует отметить, что при этом суммарная толщина оболочек соответствует прочностным требованиям $S_{OZ} > 4 \text{ мм}$, а типоразмеры исходных трубных заготовок (таблица 1) регламентированы государственными стандартами.

В соответствии с результатами компьютерного моделирования произведено экспериментальное исследование процесса формообразования 2-слойной сферической пробки шарового крана с проходным диаметром $Dy 25$ методом деформирования натуральных образцов (рисунок 2, б). Особый интерес при обработке результатов исследования представляет проведение оценки качества штампуемых деталей на предмет наличия зазора между внешней и внутренней заготовкой, отклонения от сферичности и значений поверхностной твердости внешнего слоя шаровой пробки.

Литература

1. Кузьмин Н.Н., Кресс Г.П., Иост Е.А., Агеев Н.П. Технология химического и нефтяного машиностроения и новые материалы. Шаровые краны и прогрессивные способы их изготовления. М.: Цинтихимнефтемаш, 1984 г.
2. Кузьмин Н.Н., Агеев Н.П., Кресс Г.П., Иост Е.А. Штамповка пробок шаровых кранов из трубчатых заготовок // «Кузнечно-штамповочное производство, 1985, №10.
3. Патент №2211106.RU.МПКВ21D51/08, опубл. 27.08.2003.
4. ГОСТ 8734-75. Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные.
5. ГОСТ 9941-81. Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали.
6. ГОСТ 28343-89. Краны шаровые стальные фланцевые.