

УДК 621.73.06

Бойко Ю. А.  
Драгобецкий В. В.  
Мосъпан Д. В.

### ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ ШТАМПОСВАРНЫХ ШАРОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Основная масса наиболее трудоемких в изготовлении деталей из сварных листовых заготовок входит в конструкцию шаровых кранов, дисков колес, двигателей летательных аппаратов, шаровых емкостей. Это являются – ободья колес, узлы компрессора, камеры сгорания, соплового аппарата, тепловой аппаратуры, элементов трубопроводов. Весомую долю в общей массе деталей изготавливаемых из сварных заготовок составляют детали шаровой формы без дна.

Изготовления шара из сварной цилиндрической заготовки имеет ряд трудностей. В первую очередь – это большое количество брака, связанного с разрушением сварного шва и околошовной зоны. Устранение брака связано со значительными материальными и трудовыми затратами. Поэтому исследования связанные с формоизменением сварных заготовок и совершенствованием их технологии являются актуальными и экономически выгодными.

В настоящее время при изготовлении деталей шарообразной формы деформирование заготовок проводится либо эластичной средой, жидкостями, газами и разжимными оправками [1–3]. Анализ процессов формовки сварных заготовок изложен в работах [4–6].

Наличие сварного шва в любом случае накладывает ограничение на возможность процессов формоизменения, уменьшить или исключить его влияние возможно применением прокатки, или проковки шва перед деформированием, а также усилением накладок и т. д. Однако известные методы устранения брака и повышения штампуемости сварных заготовок трудоемки и нетехнологичны.

Целью работы является совершенствование технологии формоизменения сварных цилиндрических заготовок и разработка мероприятий, исключающих нарушение сварного шва при деформации.

На различных предприятиях основную деталь шарового крана – шар изготавливают либо из плоских листовых заготовок, сваренных из двух или нескольких частей, либо из сварной цилиндрической заготовки. Варианты сварных заготовок представлены на рис. 1.

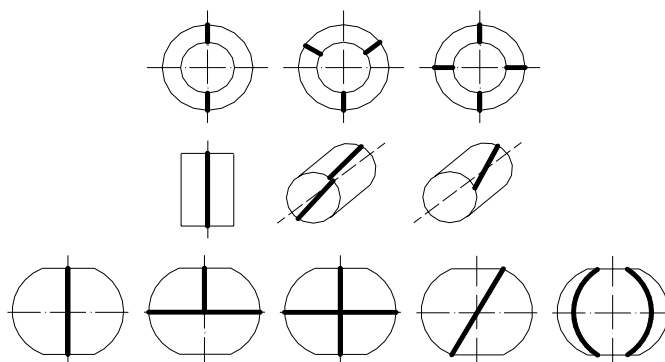


Рис. 1. Варианты сварных заготовок и деталей «шар»

Различные схемы вытяжки плоских и раздача цилиндрических заготовок приводят к предельным деформациям основного металла заготовки, и за предельными деформациями шва и околошовной зоны металла. Поэтому нарушения сплошности сварного шва при этих видах пластической деформации практически неизбежно. Об этом свидетельствует большой

(до 80 %) брак в деталях после штамповки. Это приводит к необходимости последующей заварки трещин сварного шва и околошовной зоны; поиску новых методов формообразования и эффективных приемов, повышающих пластичность сварного шва и околошовной зоны.

Сравнительно новым направлением в области прогрессивных способов формообразования оболочковых деталей является осадка предварительно продольно обжатой цилиндрической заготовки. Сущность процесса, который представлен на рис. 2, а, б, заключается в следующем.

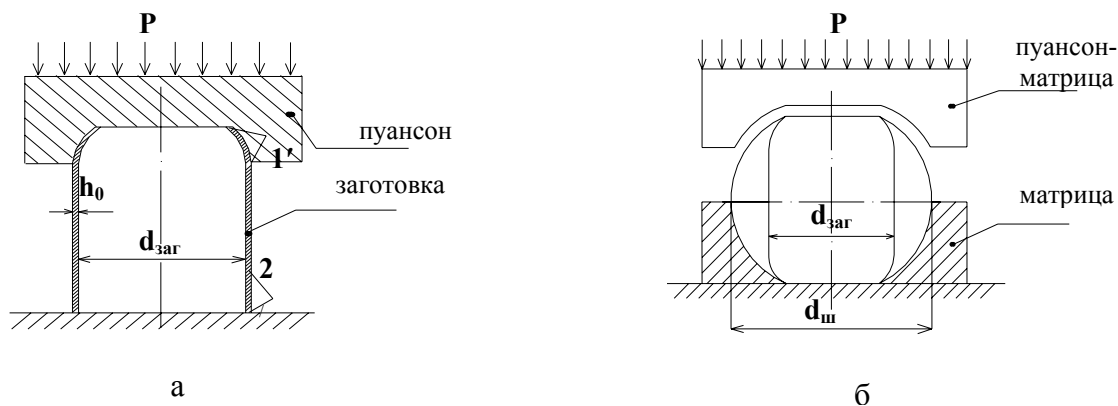


Рис. 2. Расчетные схемы продольного обжатия сварной трубчатой заготовки (а), осадки (б)

Цилиндрическую заготовку деформируют по матрице приложением усилия к торцу, обжимая последний по обжимной матрице, а средняя часть стенки заготовки по мере осадки заполняет формообразующую матрицу. Процесс осадки происходит при приложении давления к торцу заготовки в две стадии: в первой стадии часть цилиндрической заготовки 1–1' деформируется, изгибаясь в каждом сечении, проходящем через ось симметрии; во втором – заготовка переворачивается на 180° и после обжатия происходит раздача участка 2–1'.

Условие возможности протекания процесса обжима без разрушения представляется следующим балансом напряжений в опасном сечении:

$$\sigma_{\partial} + \sigma_{\epsilon} + \sigma_{\tau} \ll \sigma_{\sigma}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\partial}$  – компонент напряжений от объемно-пластического деформирования;  $\sigma_{\epsilon}$  – компонент напряжений от изгиба;  $\sigma_{\tau}$  компонент напряжений от сил трения. При обжиме жесткой матрицей преобладающими напряжениями являются тангенциальные напряжения  $\sigma_{\sigma}$ .

В этом случае вполне допустимо условие пластичности принять в виде:

$$\sigma_{\sigma} = -\sigma_{\epsilon} = const.$$

При процессе осадки, как правило, нарушении сплошности сварного шва (примерно 45–50 %) штампуемых заготовок происходит у кромки детали. Это связано с частичным или полным не проваром у кромки заготовки, который характеризуется отсутствием кристаллического излома при разрушении сварного стыка.

Наиболее просто устраняется этот дефект путем дополнительного проплавления торцевой зоны сварного шва (подвар), либо путем приварки накладной пластинки на торец сварного шва и основного металла заготовки.

Более трудоемким и менее технологичным является воздействие водоохлаждающим роликом на хвостовую часть расплавленной ванны в процессе сварки погруженной дугой, стали X18H10T. При контакте ролика с жидким металлом увеличивается скорость охлаждения и кристаллизация, что ведет к образованию структуры с дезориентированными кристаллами и равноосными зернами.

Воздействия на хвост расплавленной ванны различного рода колебаний электрода не привели к полной ликвидации брака при формоизменении.

Технологическим и универсальным бесконтактным способом передачи колебаний от генератора к сварочной ванне является метод электромагнитного воздействия на жидкий металл сварочной ванны.

Изменяя ток и индукцию магнитного поля во времени, можно бесконтактным способом генерировать в жидком металле электромагнитные силы, изменяющиеся по заданному закону. Например, накладывая на непрерывно горящую дугу магнитное поле высокой частоты.

Можно генерировать в сварочной ванне ультразвуковые колебания, а также получить в жидком металле знакопеременные, пульсирующие, постоянные и другие электромагнитные силы.

Наиболее технологическим и универсальным способом электромагнитной обработки сварочной ванны является наложение магнитного поля с помощью универсального соленоида на сварочной головке рис. 3.

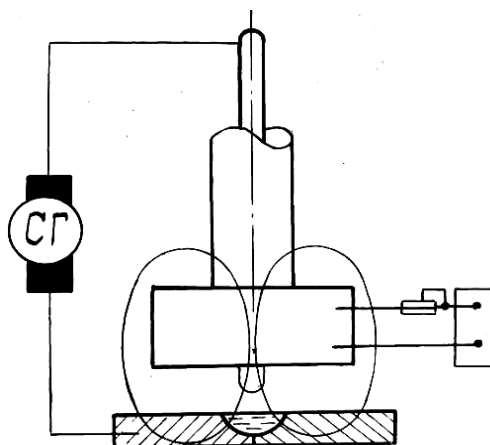


Рис. 3. Схема обработки СШ

Однако, несмотря на наличие общих рекомендаций в известных работах [5, 6], вопрос электромагнитного перемешивания сварной ванны. Были проведены эксперименты, применительно к конкретным типам установок и свариваемых материалов.

Влияние внешнего магнитного поля на структуру металла шва исследовали путем проплавления пластин  $100 \times 100$  мм. Материал X18H10T л. 0,8 сварка электрической дугой (неплавящийся электрод, защитная среда – аргон, постоянный ток прямой полярности). Внешнее магнитное поле, накладываемое на сварочную ванну, создавалось с помощью намагничивающей катушки, установленной на сопло сварочной горелки. В намагничивающую катушку подавали переменный ток промышленной частоты. Интенсивность магнитного поля, равную произведению числа витков на величину тока в ней, изменяли в пределах 0–2000 А. вит.

Индуктивность соленоида определялась по формуле:

$$L = \frac{\mu_0}{4\pi} \omega^2 d\phi, \quad (2)$$

где  $\omega$  – число витков соленоида;  $d$  – диаметр соленоида;  $\mu_0$  – магнитная постоянная. Здесь:

$$\Phi = \frac{4\pi}{3} \left[ \sqrt{\alpha^2 + 1} \left( K + \frac{1 + \alpha^2}{\alpha^2} E \right) - \frac{1}{\alpha^2} \right], \quad (3)$$

где  $S$  – длина соленоида;

$$\alpha = \frac{S}{d}; \quad (4)$$

$K$  и  $E$  – коэффициенты, зависящие от  $\alpha$ .

Влияние интенсивности магнитного поля на средний диаметр зерна стали X18H10T представлено на рис. 4.

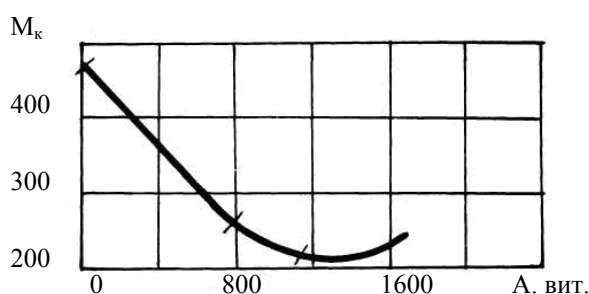


Рис. 4. Зависимость величины зерна от интенсивности магнитного поля

Минимальный размер зерна соответствует интенсивности магнитного поля, равной 1000 А. вит.

Образцы, сваренные при интенсивности 1000 А. вит., испытывались на штамп-приборе.

Цель исследования заключалась в определении предельного коэффициента раздачи, получаемого при оптимальном режиме перемешивания.

Анализ результатов испытаний показывает, что электромагнитное перемешивание дает очень незначительное увеличение, коэффициента вытяжки стали сварного шва. Однако это усложняет процесс сварки и значительно повышает стоимость изделия.

Далее рассмотрим особенности формоизменения сварной цилиндрической заготовки. Рассматриваемый процесс предполагает продольное обжатие торцов цилиндрической заготовки с последующим дополнительным нагружением кромок последней и сформировавшегося при обжатии сферического участка сжимающими и изгибными напряжениями недеформированной части заготовки. Цель дополнительного нагружения не только увеличение, пластичности материала и получение больших степеней формоизменения, но и уменьшения степени упрочнения основного материала заготовки. При дополнительном нагружении материал заготовки упрочняется значительно меньше (интенсивность деформации детали меньше), следовательно, механические свойства основного металла при формоизменении в меньшей степени отличается от механических свойств сварного шва и околошовной зоны.

Упрочнения материала заготовки при деформировании [7] основная причина брака штампосварных деталей. Разница механических свойств металла шва, околошовной зоны и заготовки приводит к значительным напряжениям и разрыву шва. Разрыв происходит в зоне максимальной интенсивности деформации заготовки. При обычной раздаче – это центральное сечение детали.

При создании сжимающих напряжений в мериодеальном направлении и изгибных в мериоциальном сечении приводит к изменению схемы напряженного состояния и самопроизвольной раздачи цилиндрической части заготовки. Раздача происходит путем сжатия и самопроизвольно возникающего момента. При этом происходит смещение нейтрального слоя к наружной поверхности. В результате этого доля растягивающих напряжений по толщине заготовки, сварному шву и околошовной зоны, уменьшается, а его прочность растет. Учесть изменение схемы напряженного состояния и связанное с ним изменение пластичности материала можно путем обобщения экспериментальных исследований предельно допустимых деформаций при различных схемах нагружения заготовок в очаге деформации. Схема напряженного состояния можно с помощью коэффициента жесткости [7]. При деформировании заготовки без дополнительного нагружения значения коэффициента жесткости схемы Смирнова-Аляева  $D$  изменяется от 0 до 2,0. экспериментальная зависимость между интенсивностью деформации и коэффициентом жесткости схемы напряженного состояния имеет вид:

$$\varepsilon_{ik} = \varepsilon_{inp} (2,5 - 2,0D + 0,5D^2), \quad (5)$$

где  $\varepsilon_{inp}$  – интенсивность деформаций в момент разрушения;

$D = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3}{\delta_i}$  – коэффициент жесткости схемы напряженного состояния;

$\varepsilon_{ik}, \delta_i$  – интенсивность деформаций и напряжений;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$  – главные напряжения.

Схема напряженного состояния влияют не только предельные показатели формоизменения (коэффициент раздачи, вытяжки, отбортовки и обжатия), но и на характер развития деформации. Процесс локализации деформаций при изменении схемы напряженного состояния начинается, при деформациях и определяется из уравнения [7]:

$$\varepsilon_{kp} = 2(1 - m + m^2)^{0,5} (2 - m)^{-1} n, \quad (6)$$

где  $m = \delta_2 - \delta_1^{-1}$  – отношение главных растягивающих напряжений;  $n = 1 + \delta_g$  – показатель упрочнения;  $\delta_g$  – удлинения в пределах шейки.

При разноименных схемах напряженного состояния, в данном случае при поперечном обжатии торцов сварной цилиндрической заготовки, знаменатель последнего выражения изменяется на  $1 + m$ .

Из уравнения (3) следует, что уменьшения второго растягивающего напряжения приводит к увеличению пластичности металла заготовки и сварного шва, т. е. увеличивается удлинения материала  $\delta_k$  в конечной стадии разрушения. Если  $\delta_g \geq \delta_k$ , то разрушение заготовки происходит без локализации деформации. Приняв  $\varepsilon_{inp} = \delta_k$  из совместного решения уравнений (5) и (6) получим:

$$\begin{aligned} & 2\delta_g (1 - m + m^2)^{0,5} (2 - m)^{-1} = \\ & = \delta_k \left[ 2,5 - 2(1 - m)(1 - m + m^2)^{0,5} + \right. \\ & \left. + 0,5(1 + m)^2 (1 - m + m^2)^{-1} \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Из этого уравнения определяем  $m_{кр}$  материала заготовки, сварного шва и околошовной зоны. Для процессов, у которых  $m \leq m_{кр}$ , разрушение происходит без предшествующей локализации деформаций и при определении предельно допустимых степеней формоизменения, нет необходимости в учете факторов, связанных с локализацией (потерей устойчивости, наличие включений, сварных швов, отверстий и т. д.)

Расчет значений  $m$  и  $m_{кр}$  по значениям напряжений и деформаций, приведенных в работах [4, 5], показал, что получение детали шар без локализации деформаций возможно при использовании процесса осадки с предварительным обжатием торцов заготовки.

Раздача разных размеров очага деформации, меньших очага и равных очагу деформации (первые более предпочтительно), а также при раздаче с дополнительным нагружением торцов заготовки  $m \geq m_{кр}$ . Возникновение брака при осадке, связано с особенностями атомно-дуговой сварки и краевым эффектом.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, выбранный метод формоизменения – осадки с продольным обжимом позволил исключить образование разрывов сварного шва и околошовной зоны на сферической части детали, путем максимального уравнивания локальных деформаций основного металла и металла шва. Дополнительное проплавления хвоста сварного шва устраняет его разрыв при формоизменении. Перспективно обеспечение проплавления хвоста сварного шва непосредственно при продольном обжатии сварной заготовки. В этом случае в обжимную матрицу необходимо установить устройство для электромагнитного нагрева торца заготовки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов Ю. И. Особенности технологии изготовления днищ из сварных заготовок различных материалов / Ю. И. Козлов // *Экспресс-информация*. – М. : ЦИНТИ химэнергомаши, Сер. ХМ – 9. – 1982. – 39 с.
2. Козлов Ю. И. Деформация сварных листовых заготовок при изготовлении оболочкообразных днищ ротационной вытяжкой / Ю. А. Козлов, Ю. А. Лотарев // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1988. – № 5. – С. 19–20.
3. Куркин С. А. Прочность сварных тонколистовых сосудов, работающих под давлением / С. А. Куркин. – М. : Машиностроение, 1986. – 192 с.
4. Головлев В. Д. Расчеты процессов листовой штамповки / В. Д. Головлев. – М. : Машиностроение, 1974. – 136 с.
5. Мельников Э. Л. Холодная штамповка днищ / Э. Л. Мельников. – М. : Машиностроение, 1986. – 192 с.
6. Блащук В. Е. Особенности сварки титанового сплава ВТ-2. / В. Е. Блащук, С. М. Гуревич // *Автоматическая сварка*. – 1981. – № 11. – С. 47–49.
7. Дель Г. Д. Технологическая механика / Г. Д. Дель. – М. : Машиностроение, 1978. – 174 с.

Бойко Ю. А. – аспирант КГПУ им. М. Остроградского;  
Драгобецкий В. В. – д-р техн. наук, проф. КГПУ им. М. Остроградского;  
Мосьпан Д. В. – аспирант КГПУ им. М. Остроградского.

КГПУ им. М. Остроградского – Кременчугский государственный политехнический университет им. М. Остроградского, г. Кременчуг.

E-mail: vldrag@polytech.poltava.ua