

УДК 621.795

Шамарин Ю. Е.  
Холявик О. В.**ВЫСОКОСКОРОСТНАЯ ШТАМПОВКА ДЕТАЛЕЙ  
РАДИОГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ БУЕВ**

В процессе применения и эксплуатации морские радиогидроакустические буи (РГБ) выдерживают большие перегрузки, так как после сбрасывания с самолета они получают мощный удар при приводнении, а затем погружаются на достаточно большую глубину и постоянно работают в морской агрессивной воде.

В связи с этим корпусные детали буя, а особенно его нижняя часть, должны быть изготовлены из прочного коррозионностойкого металла. Чаще всего в этом случае применяют титановые сплавы.

Конструкция такого буя представлена на рис. 1. [1].

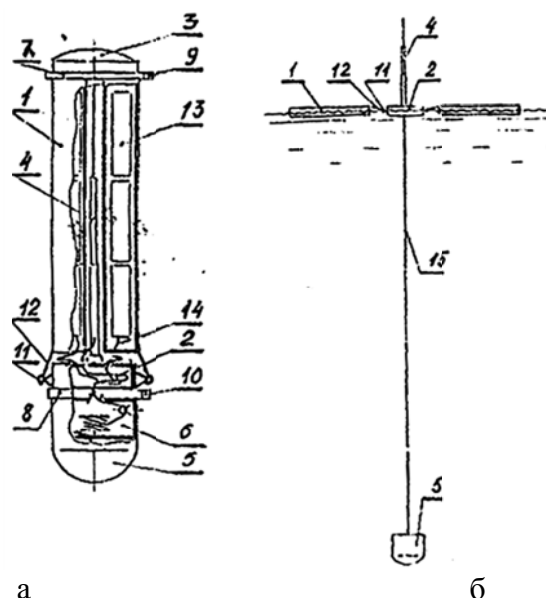


Рис. 1. Радиоакустический буй [1]:

а – в транспортном положении; б – в рабочем положении после приводнения

В состав буя входят: контейнер 1, кабельная коробка 2, парашютная система 3, радиантенное устройство 4, прибор 5, который опускается на глубину до 400 м с помощью механизма постановки 6.

Механизм постановки в транспортном положении фиксируется лентами 7 и 8, оснащенными замками-разъединителями 9 и 10.

Контейнер и кабельная коробка крепятся по осям 11 с помощью приспособлений 12. Соединение составных частей контейнера 13 осуществляется кабельными выводами 14.

Приведение РГБ в рабочее положение после приводнения осуществляется следующим образом: при ударе о воду срабатывают замки-разъединители, отстреливаются ленты, отделяется парашютная система, а прибор 5 опускается на заданную глубину, фиксируемую кабелем 15.

Составные части контейнера разворачиваются из вертикального положения в горизонтальное, при этом радиантенное устройство раскрывается.

Нижняя часть прибора 5, которая воспринимает основную нагрузку при ударе о воду, представлена на рис. 2. Ранее она выполнялась сварной, т. к. отштамповать эту деталь обычным традиционным способом не представлялось возможным.

На рис. 3. представлен эскиз этой детали. Деталь изготавливается из листового титанового сплава толщиной 2,5 мм.

Целью настоящей работы является разработка и освоение технологии высокоскоростной электрогидравлической штамповки глубоких сложных деталей из труднодеформируемых металлов и сплавов.



Рис. 2. Нижняя часть корпуса прибора 5:  
а – сварной вариант; б – отштампованная деталь.

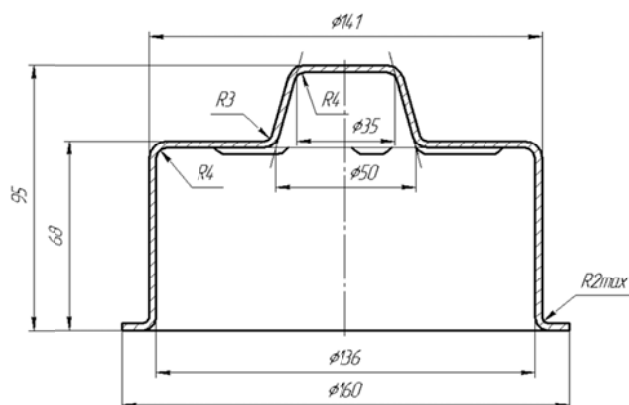


Рис. 3. Эскиз корпуса прибора 5.

В процессе исследований необходимо было оптимизировать схему нагружения заготовки, определить потребную энергию для ее деформирования, а также изучить поведение металла при высокоскоростном нагружении [2], [3].

В работе [4] предлагается необходимую для формообразования энергию определять на основании расчета статического давления:

$$W_{\text{нотр.}} = 62,5 \frac{K_c}{K_{u\varepsilon}} \frac{P_{cm} \tau c r^2 H}{l_{onm} \ln \left( \frac{r}{R_0 M^3} \right)}, \quad (1)$$

где  $K_c = (1,05 - 1,13)$  – коэффициент скоростного упрочнения;

$K_{u\varepsilon} = (0,4 - 1,0)$  – коэффициент использования энергии, учитывающий соотношение площадей смачиваемой поверхности деформируемого участка заготовки и выходного сечения камеры;

$P_{cm}$  – требуемое статическое давление, Па;

$\tau = (30 - 100)10^{-6}$  – длительность разряда, с;

$r$  – расстояние от оси разряда до заготовки, м;

$R_0 = (4 - 5)$  – начальный радиус канала разряда, мм;

$M = (1,2 - 3,0)$  – коэффициент, зависящий от угла наклона рассматриваемой точки поверхности к оси разряда.

Требуемое для формообразования статическое давление определяется из уравнения Лапласа для безмоментных оболочек:

$$P_{cm} = \sigma_s \delta \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}, \quad (2)$$

где  $\sigma_s$  – напряжение текучести материала заготовки,  $\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ ;

$\delta$  – толщина заготовки, мм;

$R_1$  и  $R_2$  – минимальные радиусы кривизны поверхности детали во взаимно перпендикулярных сечениях, мм.

При  $R_1 = R_2 = R_{\min}$ :

$$P_{cm} = \frac{2\sigma_s \delta}{R_{\min}}. \quad (3)$$

Как показали экспериментальные исследования, расчет энергии, необходимой для формообразования деталей, определяемой по формулам (1)–(3), годится только для формирования на заготовках сферических выштамповок и пуклевок с небольшим радиусом кривизны ( $R_{\min} < 30 \text{ мм}$ ).

Глубокие детали с малыми переходными радиусами и с дополнительными выштамповками предложено отштамповать высокоскоростным многократным нагружением с промежуточной термообработкой.

В этом случае величина перемещения заготовки за один импульс определяется по формуле [5]:

$$Z = \frac{rP_m\theta}{\delta\rho(1-\beta)} \left[ \frac{1}{\beta} \left( 1 - e^{-\rho \frac{t}{\theta}} \right) - \left( 1 - e^{-\frac{t}{\theta}} \right) \right], \quad (4)$$

где:  $\beta = \frac{\rho_0 c_0 \theta}{\rho \delta}$ ;

$\rho_0, \rho$  – плотность воды и заготовки соответственно;

$\theta$  – характеристическая постоянная времени;

В результате обработки экспериментальных данных, для вычисления параметров  $P_m$  и  $\theta$  были получены следующие эмпирические зависимости [6]:

$$P_m = 2,15 \cdot 10^3 \frac{1}{(l^{opt} CL)^{0,125}} \cdot \frac{E_K^{0,525}}{r^{1,05}}, \quad (5)$$

$$\theta = 1,3 \cdot r^{0,1} \cdot E_K^{0,2} \cdot 10^{-6}, \quad (6)$$

где  $E_K = E \cdot \eta_3$  – энергия, выделившаяся в канале разряда;

$L$  – индуктивность разрядного контура;

$l^{opt}$  – оптимальный рабочий промежуток;

$C$  – емкость конденсаторной батареи, мкФ.

Детали штамповали на установке «Удар 8», оснащенной генератором импульсов тока ГИТ-50-20/25 [6], технические характеристики которого представлены в табл. 1.

Аналогичные детали возможно отштамповать на электрогидравлических установках «Удар – 5», а так же на электроимпульсных прессах Т1225, Т1228 и др.

Таблица 1

## Характеристики генератора импульсов тока ГИТ-50-20/25

Рабочее напряжение	50 кВ
Емкость конденсаторной батареи	20 мкФ
Частота следования импульсов	0,2 Гц
Потребляемая мощность	16 кВт
Напряжение питания	380 В
Максимальная запасенная энергия конденсаторной батареи	25 кДж
Масса генератора	5500 кг
Габаритные размеры	2200×2150×1600 мм

## ВЫВОДЫ

Освоена технология высокоскоростной штамповки сложных деталей радиогидроакустических буев. Детали, изготовленные на электрогидравлических установках, в процессе применения и эксплуатации по своим прочностным и надежностным характеристикам соответствуют требованиям технической документации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 99682 Україна, МПК В63В22/10. Буй для збору даних / Шамарін Ю. Є., Кулагін В. В., Єжель М. Б., Алексеєнко В. М., Шамарін О. Ю. – Заявл. 31.08.2011; опубл. 10.09.2012. Бюл. № 17.
2. Шамарін Ю. Є. Штампування заготовки високовольтним розрядом в рідині з попереднім статичним навантаженням. / Ю. Є. Шамарін, Є. А. Носар // Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти. – Київ, НТУУ «КПІ», 2012. – С. 42.
3. Тітов В. А. Високошвидкісні методи обробки металів тиском: Підручник / В. А. Тітов, Ю. Є. Шамарін, А. І. Долматов [та ін.]; під ред. В. А. Тітова. – Київ, КВІЦ, 2010. – 304с.
4. Тараненко М. Е. Электрогидравлическая штамповка : теория, оборудование, техпроцессы / М. Е. Тараненко. – Харьков, Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. Авиац. ин-т», 2011. – 272с.
5. Тітов В. А. Высокоскоростные методы обработки металлов давлением / В. А. Тітов, Ю. Е. Шамарин, А. И. Долматов [и др.]; Киев, изд. СПД Карпук С. В., 2008. – 322с.
6. Шамарин Ю. Е. Электрогидравлический процесс формоизменения металлов / Ю. Е. Шамарин, В. Н. Чачин, Ю. Е. Шарин; Киев, УкрНИИИТИ, 1971. – 24с.

## REFERENCES

1. Pat. 99682 Ukraine, MPK V63V22/10. Buy dlja zboru danih / Shamarin Ju. Є., Kulagin V. V., Czheľ' M. B., Alekseenko V. M., Shamarin O. Ju. – Zajavl. 31.08.2011; opubl. 10.09.2012. Bjul. № 17.
2. Shamarin Ju. Є. Shtampuvannja zagotovki visokovol'tnim rozrjadom v ridini z poperednim statichnim navantazhenjam. / Ju. Є. Shamarin, Є. А. Nosar // Teoretichni ta praktichni problemi v obrobci materialiv tiskom i jakosti fahovoi osviti. – Kiiv, NTUU «KPI», 2012. – S. 42.
3. Titov V. A. Visokoshvidkisni metodi obrobki metaliv tiskom : pidruchnik / V. A. Titov, Ju. Є. Shamarin, A. I. Dolmatov [ta in.]; pid red. V. A. Titova. – Kiiv, KVIC, 2010. – 304s.
4. Taranenko M. E. Jelektrogidravlicheskaja shtampovka : teorija, oborudovanie, tehprocessy / M. E. Taranenko. – Har'kov, Nac. ajerokosm. un-t im. N. E. Zhukovskogo «Har'kovskij Aviacionnyj institut», 2011. – 272s.
5. Titov V. A. Vysokoskorostnye metody obrabotki metallov davleniem / V. A. Titov, Ju. E. Shamarin, A. I. Dolmatov [i dr.]. – Kiev, izd. SPD Karpuk S. V., 2008. – 322s.
6. Shamarin Ju. E. Jelektrogidravlicheskij process formoizmenenija metallov / Ju. E. Shamarin, V. N. Chachin, Ju. E. Sharin. – Kiev, UkrNIITI, 1971. – 24s.

Шамарин Ю. Е. – д-р техн. наук, проф. НТУУ «КПІ»

Холявик О. В. – канд. техн. наук, доц. НТУУ «КПІ»

НТУУ «КПІ» – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев.

E-mail: [k\\_OMD@ukr.net](mailto:k_OMD@ukr.net)

Статья поступила в редакцию 18.02.2014 г.