

**Ю. Д. Горбунова<sup>\*</sup>, А. И. Горяев<sup>1</sup>, Н. А. Змеева<sup>1</sup>,  
А. Ф. Кузнецов<sup>2</sup>, Г. А. Орлов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> АО «Уралхиммаш», г. Екатеринбург

<sup>2</sup> ОП АО НПО «Тяжпромарматура» — СЗСТМ — цех 91,  
Тульская область, Алексинский район, ст. Суходол, 32

<sup>3</sup> Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

\*julia\_gorbunova@e1.ru

## **СНИЖЕНИЕ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ГОРЯЧЕСТАМПОВАННЫХ ДНИЩ**

В статье представлены результаты работ по исследованию утонения эллиптических горячештампованных днищ, изготавливаемых на АО «Уралхиммаш». Целью данного исследования является снижение металлоемкости штампуемых на предприятии днищ и, как следствие, затрат на их производство. Приведена ожидаемая экономическая эффективность от промышленного внедрения результатов исследования.

*Ключевые слова:* горячая листовая штамповка, эллиптические днища, утонение.

**Yu. D. Gorbunova, A. I. Goryayev, N. A. Zmeyeva,  
A. F. Kuznetsov, G. A. Orlov**

## **REDUCTION IN METAL CONSUMPTION OF ELLIPTIC HOT-FORMED HEADS**

The article introduces results on research of thinning of elliptic hot-formed heads manufactured at JSC Uralhimmash. The goal of this research is to reduce metal consumption of heads formed at the enterprise and, consequently, to reduce their production costs. Expected economic effectiveness from industrial introduction of research results is provided.

*Key words:* high-temperature forming, elliptic heads, thinning.

**Д**нища являются одним из наиболее металлоемких элементов сосудов и аппаратов, изготавливаемых для химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, атомной и других отраслей промышленности.

В условиях серийного производства эллиптические днища рациональней изготавливать вытяжкой в штампах на гидравлических прес-

сах с предварительным нагревом исходной заготовки перед деформацией при условии наличия необходимой оснастки [1–3].

При горячей штамповке эллиптическое днище получается с переменной толщиной стенки [4]. В соответствии с требованиями ГОСТ Р 52857.1–2007 и ГОСТ Р 52857.2–2007 при расчете исполнительной толщины заготовки эллиптического днища учитывается прибавка  $c_3$ , компенсирующая возможное понижение прочности днища в условиях изготовления за счет технологического утонения.

Утонению металла стенки заготовки горячештампованного эллиптического днища способствуют все факторы, которые увеличивают усилие вытяжки: конструктивные размеры пуансона и матрицы, трение между деформируемым металлом и оснасткой, усилие прижима и др. [4–8]. Существенное влияние на утонение стенки заготовки оказывает неравномерность температурного поля, возникающая из-за охлаждения заготовки на воздухе при переносе ее из печи, установке в штамп, а также вследствие теплообмена между заготовкой и пуансоном во время штамповки [9]. Уменьшение толщины стенки днища в процессе изготовления происходит также и за счет потери части металла на угар в результате нагрева заготовки в печи перед штамповкой.

При расчетах на прочность учитывается утонение в средней части эллиптического днища на площади, определяемой от центральной точки днища по внутренней поверхности, величиной радиуса, равного  $\sqrt{(D_{\text{в}} + S) \times S}$ , где  $D_{\text{в}}$  — внутренний диаметр,  $S$  — исполнительная толщина листа заготовки днища; утонение в зоне отбортовки не учитывается, если не превышает 15 % исполнительной толщины листа. С точки зрения прочностных расчетов, распределение и величина суммарного напряжения, действующего в зоне отбортовки, при нагрузке давлением выпуклого днища, не являются критическими [10].

На АО «Уралхиммаш» в доперестроечные годы при проектировании эллиптических днищ, основываясь на требованиях нормативной документации по прочностным расчетам, прибавка на утонение толщины стенки не учитывалась. Во времена перестройки с выходом на международный рынок отношений в проектировании, который обязал работать с нормами ASME, DIN и пр., опираясь на практику и данные исследований [4, 5], при расчете исполнительной толщины заготовки днища ввели прибавку для компенсации утонения стенки при горячей штамповке 15 %.

Увеличение рационального использования ресурсов является необходимым условием интенсификации производства на машиностроительном предприятии в современное время, повышения его эффективности.

На АО «Уралхиммаш» были выполнены исследования фактической разнотолщинности эллиптических горячештампованных днищ, изготавливаемых на предприятии, с целью снижения их металлоемкости.

Для исследования проанализированы результаты ежегодных периодических испытаний штамповок эллиптических днищ за последние 10–15 лет, проводимых на предприятии в соответствии с требованиями ТУ 26-37-80, и дополнительно в течение 2016–2017 годов отобраны и измерены днища с текущих производственных заказов.

Для исследования использовали днища с внутренними базовыми размерами диаметром от 900 до 3400 мм, толщиной от 8 до 110 мм, из сталей Ст3, 20ЮЧ, 22К, 09Г2С, 12ХМ, 12Х18Н10Т, 03Х18Н11 и др. Профиль днищ соответствует требованиям ГОСТ 6533–78, отклонения размеров и формы отштампованных днищ не превышают значений, установленных ГОСТ Р 52630–2012.

Для определения изменения толщины стенки днища при горячей штамповке ультразвуковым толщиномером измеряли толщину плоских заготовок днищ в точках, предварительно размеченных на поверхности, затем после штамповки повторно измеряли толщину отштампованных днищ в этих же точках.

По результатам произведенных измерений и расчетов для каждого типоразмера днища построили эпюры изменения толщины стенки днища в меридиональном сечении.

Анализ данных, полученных в ходе исследования, свидетельствует о том, что существующая технология штамповки днищ на АО «Уралхиммаш» обеспечивает потенциальное снижение технологической прибавки  $c_3$ . Для получения минимальной толщины стенки днища, необходимой для прочности сосуда или аппарата, при расчете исполнительной толщины днищ из аустенитных сталей технологическую прибавку  $c_3$  для компенсации утонения стенки при штамповке допускается снизить с 15 до 7%, для днищ из углеродистых и низколегированных сталей — до 10%. Уточненные величины технологической прибавки  $c_3$  учитывают также вероятные повторные штамповки, связанные с ошибками выполнения технологического процесса, поломкой оборудования, износа оснастки.

С целью оценки экономической эффективности от внедрения результатов исследования практики изготовления эллиптических днищ на АО «Уралхиммаш» произведен расчет снижения металлоемкости, а также изменения ряда взаимосвязанных прямых и косвенных затрат на производство эллиптических горячештампованных днищ.

Расчет произведен в ценах 2017 года, исходя из количества фактически изготовленной продукции в 2017 году.

За счет применения уменьшенной технологической прибавки для компенсации утонения стенки потенциальное снижение расходов на производство эллиптических горячештампованных днищ из углеродистых и низколегированных сталей составляет 3 121 460 руб. в год, из аустенитных сталей – 16 683 108 руб. в год.

При улучшении технологического процесса, проведении дополнительных мероприятий, направленных на уменьшение утонения стенки эллиптических днищ при горячей штамповке, величина экономии может быть увеличена.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Штамповка эллиптических днищ с переменным усилием прижима / В. П. Лукьянов [и др.] // Химическое и нефтяное машиностроение. 1976. № 4. С. 28–29.
- 2 Лукьянов В. П. Исследование процесса штамповки эллиптических днищ / В. П. Лукьянов, Е. Д. Горохов // Кузнечно-штамповочное производство. 1970. № 3. С. 17–20.
- 3 Степанов В. Г. Выбор методов штамповки крупногабаритных днищ при мелкосерийном производстве / В. Г. Степанов // Кузнечно-штамповочное производство. 1976. № 3. С. 39–40.
- 4 Мошнин Е. Н. Технология штамповки крупногабаритных деталей / Е. Н. Мошнин. М. : Машиностроение, 1973. 240 с.
- 5 Штамповка элементов корпусных конструкций / В. Г. Степанов [и др.] // Ленинград : Судостроение. 1972. 279 с.
- 6 Северденко В. П. Брак в листовой штамповке / В. П. Северденко, П. С. Овчинников, С. Э. Розенберг. Минск : Наука и техника, 1973. 168 с.
- 7 Ризванов Р. Г. Обеспечение качества оболочковых конструкций повышением точности изготовления и сборки базовых деталей : дис. ... д-ра техн. наук / Р. Г. Ризванов. Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2002. 354 с.
- 8 Лукьянов В. П. Анализ причин образования трещин при штамповке днищ из нержавеющей сталей / В. П. Лукьянов, Е. Д. Горохов, В. А. Снежковский // Химическое и нефтяное машиностроение. 1971. № 1. С. 31–33.
- 9 Демин В. А. Горячая листовая штамповка днищ / В. А. Демин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2002. № 8. С. 16–19.
- 10 Немец Я. Расчеты прочности сосудов, работающих под давлением / Я. Немец. М. : Машиностроение, 1964. 311 с.