

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОКОВОК ПРИ ШТАМПОВКЕ КОРПУСОВ ЛАТУННЫХ КРАНОВ

Д.О. Левин¹, office@ld-pride.ru
В.А. Иванов², ivanovva@susu.ru
Д.А. Усов¹, udaldpride@gmail.com
С.С. Стругов¹, strugov_s174@mail.ru

¹ ООО «ЛД Прайд», Челябинск, Россия

² Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. В данной работе приведен анализ пластического течения материала, проведенный на базе программного комплекта QForm 3D с целью определения оптимальных геометрических параметров инструмента. Высокий спрос на латунную запорную арматуру возрастает, что приводит к необходимости повышения качества и экономичности производства (в частности снижение металлоемкости полуфабрикатов). В данной статье рассмотрены схемы горячей объемной штамповки латунных корпусов шаровых кранов для крепления корпуса электропривода. В процессе опытного освоения был выявлен зажим (соприкосновение плоскостей заготовки) на торце поковки, вскрывшийся после механической обработки. Данный дефект является окончательным браком, что привело к необходимости проведения моделирования в программном комплексе QForm 3D для определения причин его появления и корректировки технологии. Согласно результатам моделирования образование зажима происходит при утонении пояска материала, движущегося навстречу верхнему пуансону, что приводит к его остыванию и повышению предела прочности. Дальнейшая деформация сопровождается проникновением остывшего и более прочного пояска латуни в тело заготовки. Данные моделирования позволили скорректировать геометрию инструмента (увеличить диаметр пуансона), что позволило в процессе формирования поковки обеспечить широкий поясок между внутренней полостью матрицы и наружным диаметром пуансона, позволивший сохранить температуру заготовки. Равномерное распределение температуры позволяет сохранить изотропию механических свойств по телу заготовки и обеспечить устойчивую пластическую деформацию без появления зажима. Определены цели и задачи дальнейшего исследования процесса, связанные с определением соотношений геометрических параметров инструмента для составления рекомендаций к конструированию оснастки. Планируется проведение физического эксперимента и сравнительный анализ с результатами моделирования в конечно-элементных пакетах, что позволит установить соответствие между физической и математической моделями.

Ключевые слова: горячая объемная штамповка, QForm 3D, запорная шаровая арматура, штамповка латунных сплавов

Для цитирования: Анализ и исследование геометрических параметров инструмента с целью повышения качества поковок при штамповке корпусов латунных кранов / Д.О. Левин, В.А. Иванов, Д.А. Усов, С.С. Стругов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2023. Т. 23, № 2. С. 55–63. DOI: 10.14529/met230205

ANALYSIS AND STUDY OF GEOMETRIC TOOL PARAMETERS WITH PURPOSE INCREASING THE QUALITY OF FORGINGS DURING FORGING BODIES OF BRASS CRANES

D.O. Levin¹, office@ld-pride.ru

V.A. Ivanov², ivanovva@susu.ru

D.A. Usov¹, udaldpride@gmail.com

S.S. Strugov¹, strugov_s174@mail.ru

¹ LLC "LD Pride", Chelyabinsk, Russia

² South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. This paper presents an analysis of the plastic flow of the material, carried out on the basis of the QForm 3D software package in order to determine the optimal geometric parameters of the tool. The high demand for brass valves is increasing, which leads to the need to improve the quality and efficiency of production (in particular, reducing the metal consumption of semi-finished products). This article discusses the schemes of hot forging of brass bodies of ball valves for fastening the body of the electric drive. In the process of pilot development, a clamp (contact of the workpiece planes) was revealed at the end of the forging, which opened after machining. This defect is the final marriage, which led to the need for simulation in the QForm 3D software package to determine the causes of its occurrence and adjust the technology. According to the simulation results, the formation of a clamp occurs when the belt of material moving towards the upper punch is thinned, which leads to its cooling and an increase in the tensile strength. Further deformation is accompanied by the penetration of a cooled and more durable brass band into the body of the workpiece. Simulation data made it possible to correct the geometry of the tool (increase the diameter of the punch), which made it possible to provide a wide belt between the internal cavity of the die and the outer diameter of the punch during the formation of the forging, which made it possible to maintain the temperature of the workpiece. Uniform temperature distribution allows maintaining the isotropy of mechanical properties over the workpiece body and ensuring stable plastic deformation without the appearance of a clamp. The goals and objectives of further research of the process are determined, related to the determination of the ratios of the geometric parameters of the tool for making recommendations for the design of the tooling. It is planned to conduct a physical experiment and a comparative analysis with the results of modeling in finite element packages, which will make it possible to establish a correspondence between the physical and mathematical models.

Keywords: hot forging; QForm 3D; shut-off ball valves; stamping of brass alloys

For citation: Levin D.O., Ivanov V.A., Usov D.A., Strugov S.S. Analysis and study of geometric tool parameters with purpose increasing the quality of forgings during forging bodies of brass cranes. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2023;23(2):55–63. (In Russ.) DOI: 10.14529/met230205

Введение

С развитием современного арматуростроения на рынке появилось множество решений для контроля и регулирования потоков жидкостей (сети горячего и холодного водоснабжения) [1, 2]. Основной задачей данных решений является возможность дистанционного управления приводами шарового крана с целью заблаговременного перекрытия при наличии протечек воды в системах водоснабжения. Данная система оснащается блоком управления, датчиками протечки воды и шаровым краном с электроприводом. При попадании влаги на электроды датчика подается сигнал на блок управления и отправляется

команда на закрытие клапана крана. Для указанных задач требуется особая конструкция корпуса шарового крана, обеспечивающая возможность установки электропривода [3–9]. В качестве примера приведен эскиз корпуса крана на рис. 1.

Корпус отличается от стандартного наличием широкого основания для крепления привода. Это приводит к увеличению массы исходной заготовки и значительно затрудняет процесс заполнения полости штампа. При проведении опытно-серийной штамповки корпуса DN15 для электропривода был выявлен брак, заключающийся в наличии зажима на торце корпуса, вскрывшийся после механической

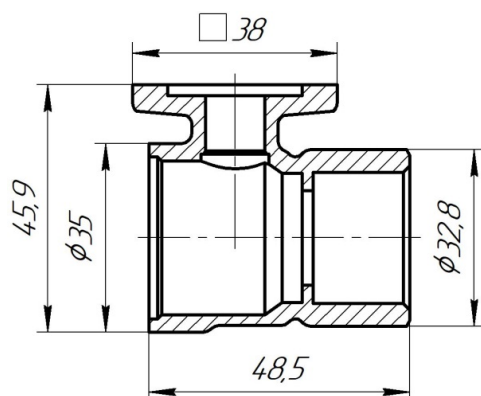


Рис. 1. Эскиз корпуса крана DN20 под установку
электропривода
Fig. 1. Sketch of the valve body DN20 for the installation
of an electric drive

обработки и приведший к окончательному браку полуфабриката [10–12].

Основными задачами при проведении работ является выявление причин образования брака, проведение конечно-элементного моделирования и дальнейшая разработка методики для определения соотношений и зависимостей деформирующего инструмента в целях исключения образования зажима заготовки в процессе штамповки для возможности производства качественных полуфабрикатов без увеличения припуска под механическую обработку.

Методы

Для реализации указанных целей и проведения исследования воспользуемся про-

граммным пакетом QForm 3D (лаборатория кафедры ПиМОМД, НИУ ЮУрГУ), реализующим метод конечных элементов (далее МКЭ). Моделирование проводили на материале ЛС60-2 ГОСТ 15527–2004 [13–15], температура заготовки – 760 °С. Температура штамповой оснастки принята 400 °С. Условия контактного трения заданы посредством смазки для горячей объемной штамповки на основе графита и воды. Исходная схема штамповки со ступенчатым пуансоном приведена на рис. 2.

С целью исключения зажима была предложена схема деформации с гладким пуансоном (рис. 3а) и пуансоном с широкой ступенькой (рис. 3б). Обозначение позиций аналогично со схемой на рис. 2.

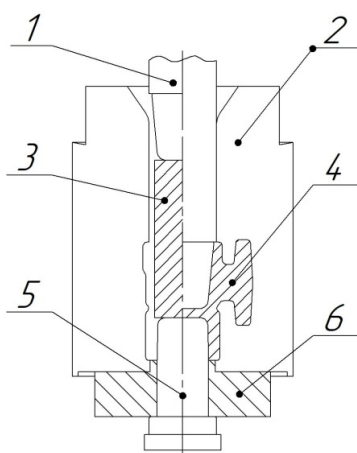


Рис. 2. Схема штамповки со ступенчатым пуансоном:
1 – верхний деформирующий пуансон; 2 – полуматрица;
3 – исходная заготовка; 4 – штампованная поковка;
5 – нижний пуансон; 6 – выталкиватель
Fig. 2. Scheme of stamping with a stepped punch:
1 – upper deforming punch; 2 – semi-matrix;
3 – original workpiece;
4 – stamped forging; 5 – lower punch; 6 – ejector

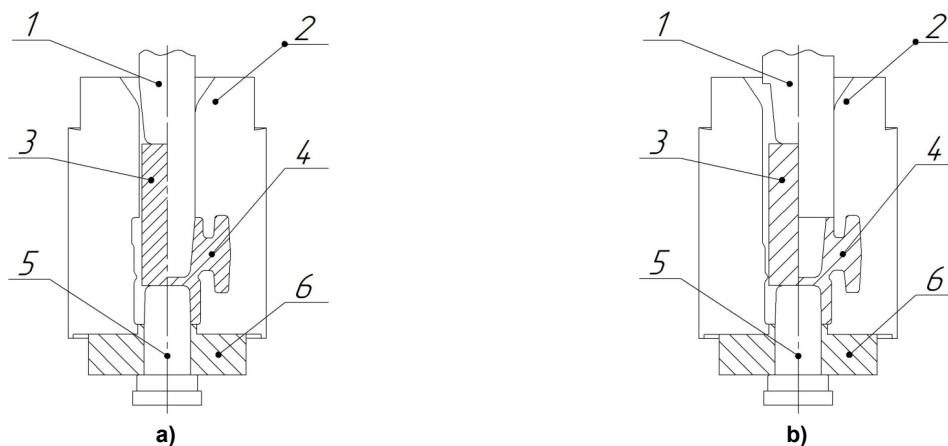


Рис. 3. Предложенные схемы штамповки: а – гладкий пуансон; б – пуансон с максимально допустимой шириной ступеньки

Fig. 3. Proposed stamping schemes: a – smooth punch; b – punch with the maximum allowable step width

Для оценки характера и величины зажима на торце расточенного полуфабриката использовали металлографический инвертированный микроскоп Альтами МЕТ 1Т.

Результаты

После штамповки опытной партии заготовок детали корпус разрезали на электроэро-

зионном станке. Рез произвели перпендикулярно плоскости зажима, в месте, где он визуально более различим. Фото зажима на торце корпуса приведено на рис. 4. Красным цветом выделено место максимального «расслоения» материала.

Из образца на фотографии выше был подготовлен микрошлиф. Визуальный осмотр на

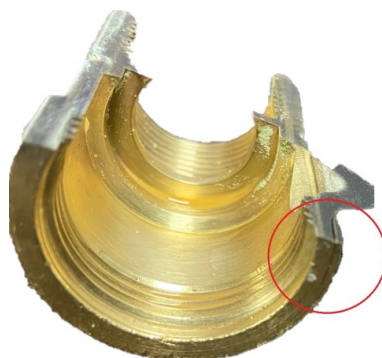


Рис. 4. Изображение разрезанного корпуса электропривода
 Fig. 4. Image of the cut body of the electric drive

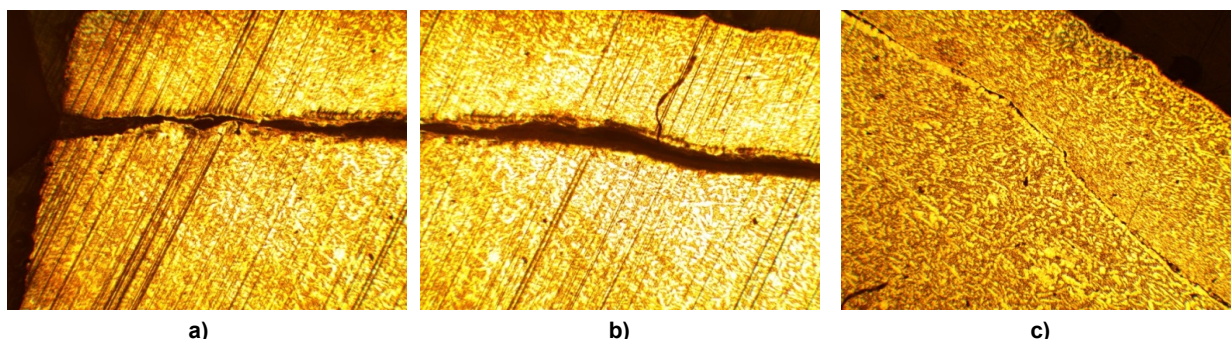


Рис. 5. Фотографии микрошлифа с оптического микроскопа: а – вид в месте поперечного разреза заготовки; б – промежуточный участок с развитым расслоением материала; с – участок плотного прилегания слоев (без микроскопа трудноразличим)

Fig. 5. Photographs of a microsection from an optical microscope: a – view at the site of a cross section of the workpiece; b – intermediate section with a developed material delamination; c – area of tight fit of the layers (it is difficult to distinguish without a microscope)

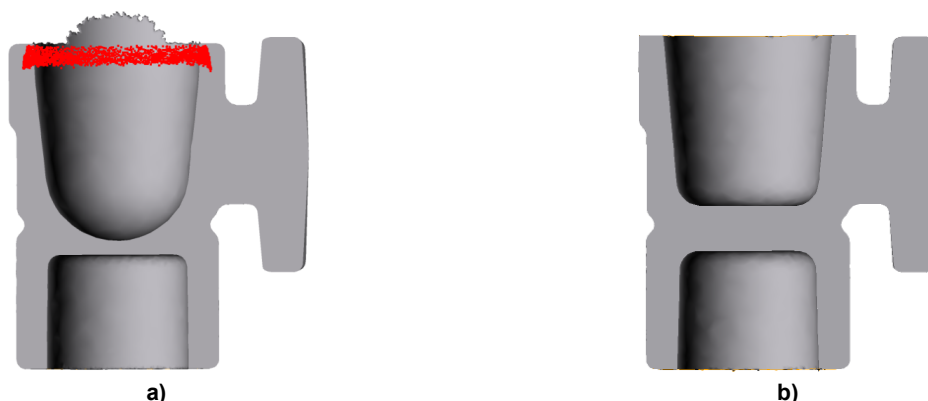


Рис. 6 Результаты моделирования формообразования поковок: а – гладкий пуансон; б – широкий ступенчатый пуансон
Fig. 6 Simulation results of forging shaping: a – smooth punch; b – wide stepped punch

оптическом микроскопе показывает, что зажим сформирован практически по всему диаметру корпуса и сходит на нет примерно на четверти окружности (рис. 5).

Результаты проведенного моделирования на базе QForm представлены на рис. 6.

Обсуждение

На основании предоставленных данных очевидно, что наиболее благоприятная схема

деформации – с широким ступенчатым пуансоном. Рассмотрим и проанализируем момент оформления зажима в полости штампа в случае штамповки гладким пуансоном. В качестве иллюстрации воспользуемся изображениями из QForm 3D (рис. 7).

Согласно результатам моделирования в начале процесса деформации (см. рис. 7а), при движении верхнего пуансона течение верхнего края деформируемой заготовки происходит

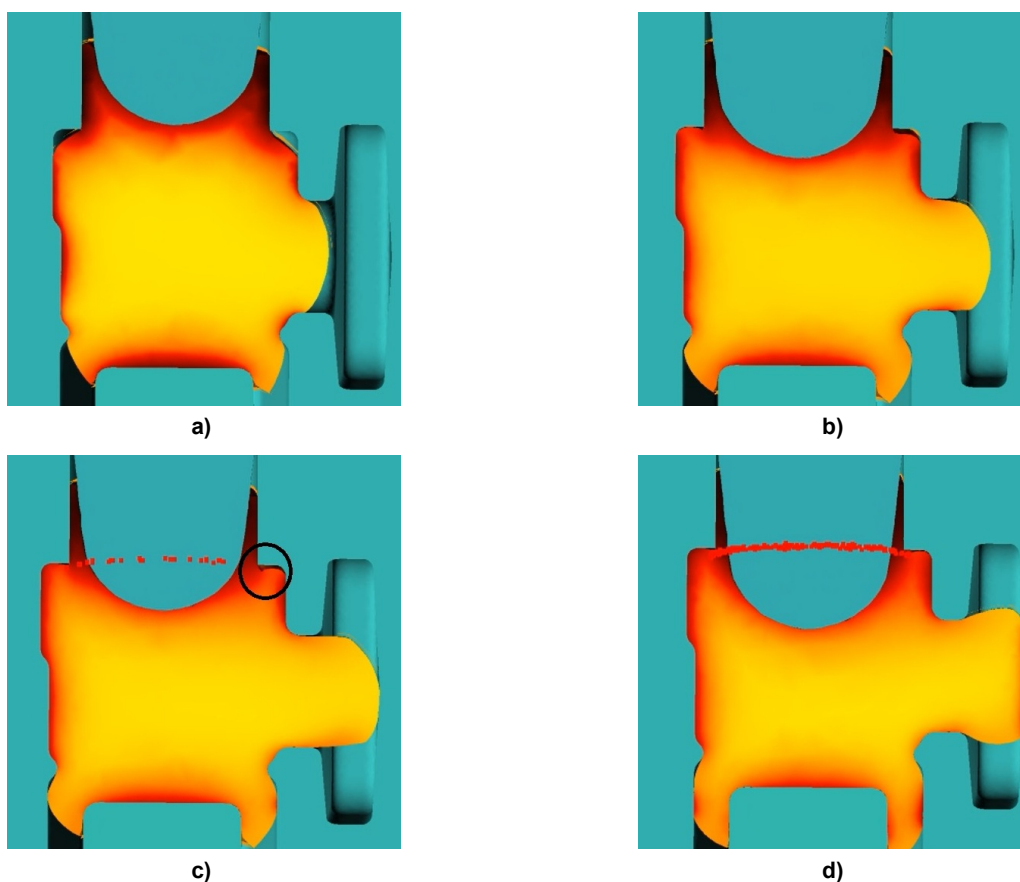


Рис. 7. Этапы заполнения штампа при схеме нагружения с гладким пуансоном
Fig. 7. Stages of filling the stamp in the loading scheme with a smooth punch

навстречу движению пуансона и верхняя часть заготовки начинает утоняться (за счет ограничения наружного диаметра полостью матрицы). Далее следует начало заполнения основания под электропривод и участка с восьмигранником (см. рис. 7b). Второй этап заполнения также характерен тем, что верхняя часть матрицы практически оформлена и постепенно происходит дальнейшее утонение пояска заготовки на верхнем пуансоне. На третьем шаге процесса деформирования продолжается оформление основания корпуса и заполнение восьмигранника. При этом температура пояска, находящегося на верхнем пуансоне, падает более чем на 100 градусов, что приводит к локальному увеличению предела прочности. За счет повышения предела прочности тонкого пояска и поступательного движения пуансона происходит деформация основного тела заготовки затвердевшим пояском. Вследствие этого на третьем шаге начинается формирование зажима (выделено на рис. 7с черным кружком). На четвертом шаге продолжается интенсивное течение латуни в основание корпуса, а также заполнение вось-

мигранника. Зажим становится ярко выраженным и продолжает оформление. Красные точки на рис. 7с, d идентифицируют контакт заготовки самой с собой. Наличие данного дефекта присутствует и на поковках опытной партии штамповки.

Зажим на заготовке при моделировании образуется равномерный и осесимметричный, а на корпусе после опытной штамповки уходит в пределах четверти окружности (в некоторых случаях зажим образуется на припуске и в дальнейшем частично стачивается). Это связано прежде всего с точностью позиционирования заготовки в полости штампа. В условиях моделирования заданы идеальные условия, когда заготовка абсолютно соосна верхнему пуансону, что недостижимо в реальных условиях.

Рассмотрим процесс штамповки с широкой ступенью пуансона (рис. 8).

В случае моделирования процесса штамповки широким ступенчатым пуансоном (диаметр пуансона приблизительно равен наружному диаметру корпуса крана) процесс протекает с более равномерным распределе-

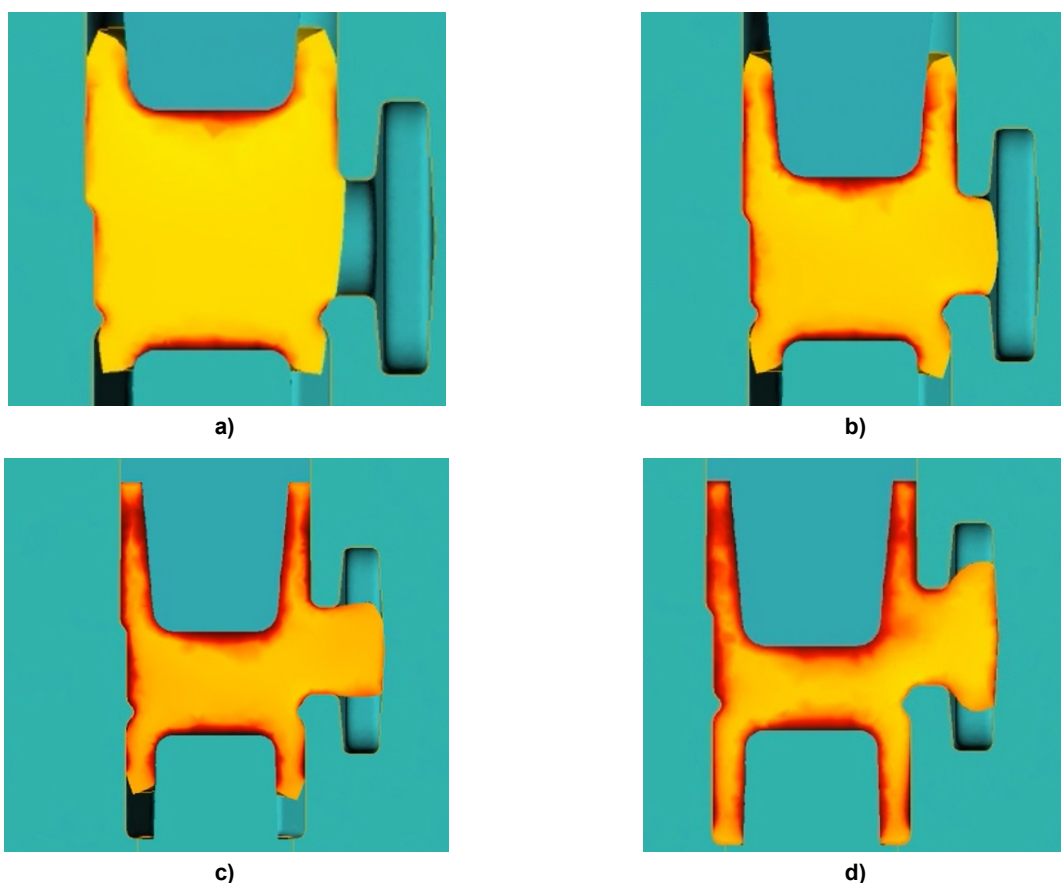


Рис. 8. Этапы заполнения штампа при схеме нагружения с широким пуансоном
Fig. 8. Stages of filling the die with a loading scheme with a wide punch

нием температуры в теле поковки. Первая стадия протекает аналогично с утонением заготовки, движущейся навстречу верхнему пуансону. Однако в данном случае подхолаживание происходит менее интенсивно, так как толщина кольцевой части заготовки гораздо шире и составляет от 3,89 до 4,5 мм. На втором этапе деформации материал все более интенсивно течет навстречу верхнему пуансону, начинает более ярко выражено оформляться восьмигранник и основание корпуса. Третий этап характерен тем, что заготовка достигает ступени верхнего пуансона и продолжается интенсивное течение латуни в полость основания. На четвертом этапе оформляется восьмигранник, и сплав перетекает в полость основания, что наиболее схоже с боковым прессованием.

На основании представленных данных можно сделать вывод, что для качественного заполнения полости штампа при данной схеме пластической деформации необходимо обеспечить наибольшую толщину материала на верхнем пуансоне для сохранения температуры. При уменьшении стенки деформируемого материала происходит быстрое «подхолаживание» и увеличение предела прочности, что приводит к заштамповке, то есть наложению наружных поверхностей друг на друга. Данные моделирования подтверждаются экспериментальными данными как при опытной штамповке (20 шт.), так и на опытно-промышленной (4000 шт.). Следует отметить, что зажим распределен по торцу неравномерно и на некоторых участках отсутствует, что связано с точностью позиционирования заготовки в полости штампа. Ввиду невозможности позиционирования заготовки с точностью до 0,01–0,02 мм на диаметр необходимо максимальное увеличение стенки. Данное реше-

ние позволяет без увеличения припуска на обрабатываемую поверхность исключить выпуск брака и реализовать наиболее благоприятную схему пластической деформации.

В продолжение работы следует определить геометрические зависимости деформирующего инструмента для реализации возможности его расчета на другие типоразмеры, определить конфигурации заготовок. Планируется проведение штамповки опытно-промышленных партий для проверки работоспособности геометрии инструмента и подтверждения результатов моделирования.

Выводы

В ходе проведения исследований процесса штамповки корпуса крана под электропривод была предложена схема деформации с широким пуансоном с целью увеличения деформируемого пояса для уменьшения степени его охлаждения. При этом данная схема штамповки не требует увеличения припуска материала. Рассмотрен механизм образования зажима на торце корпуса крана, обусловленный повышением предела прочности в связи с уменьшением температуры тела заготовки. Проведена опытно-серийная штамповка со ступенчатым пуансоном, произведена расточка и выявлен брак. На лабораторной базе кафедры ПиМОМД (НИУ ЮУрГУ) было реализовано моделирование процесса штамповки с широким, гладким и ступенчатым пуансоном в программном комплексе QForm 3D. Проанализирован характер течения материала в полости штампа. Сформулированы основные цели и задачи дальнейшего определения геометрических зависимостей для составления рекомендаций к конструированию штамповой оснастки и определения конфигурации поковки.

Список литературы

1. Как выбрать игольчатый кран для трубопровода? 2022. URL: <https://infotrubby.ru/armatura/igolchatyj-kran>.
2. Как выбрать и установить регулирующий вентиль. 2023. URL: <https://vse-o-trubah.ru/reguliruyushhij-ventil.html>.
3. Умный электропривод шарового крана воды или газа с Wi-Fi экосистемы Tuya. 2021. URL: <https://www.ixbt.com/live/home/wifi-umnyy-elektroprivod-sharovogo-krana-vody-ili-gaza-ekosistemy-tuya.html>.
4. Модели шаровых кранов с электроприводом. 2023. URL: <https://kvanta.ru/zashhita-ot-protechek/modeli-sharovyh-kranov-s-elektroprivodom>.
5. Шаровые краны с электроприводом: особенности и преимущества. 2023. URL: <https://stroy-podskazka.ru/vodosnabzhenie/kran-sharovoj/s-elektroprivodom/>.

6. Выбор электропривода Regada для управления шаровым краном. 2019. URL: http://www.regada.su/guide/podbor_elektroprivoda_dlya_sharovogo_krana/.
7. Кран шаровой с электроприводом. Варианты исполнения. 2023. URL: <https://gidrolok.ru/page/kran-sharovoy-s-elektroprivodom.html>.
8. Шаровые краны с электроприводом. 2023. URL: <https://www.elektro-expo.ru/ru/articles/2016/sharovye-kran-y-s-elektroprivodom/>.
9. Автоматические шаровые краны – принцип работы. 2023. URL: <https://future2day.ru/kran-sharovo-j-s-elektroprivodom-wi-fi/>.
10. Ковка и штамповка / Е.И. Семенов, А.О. Ганаго, Л.И. Живов и др. М.: Машиностроение, 1987. Т. 4. 545 с.
11. Технологический справочник по ковке и объемной штамповке / под ред. М.В. Сторожева. М.: Машиностроение, 1958. 643 с.
12. Брюханов, А.Н. Ковка и объемная штамповка. М.: Машиностроение, 1975. 402 с.
13. ГОСТ 15527–2004. Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Введ. 2005-07-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. 11 с.
14. Осинцев О.С., Федоров В.Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: справ. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Инновационное машиностроение, 2016. 360 с.
15. Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы. Машиностроение. Энциклопедия в сорока томах. Раздел II. Материалы в машиностроении. Т. II-3 / под ред. И.Н. Фридляндера. М.: Машиностроение, 2001. 870 с.

References

1. *Kak vybrat' igol'chatyy kran dlya truboprovoda?* [How to choose a needle valve for pipeline?]. 2022. (In Russ.) Available at: <https://infotrudy.ru/armatura/igolchatyj-kran>.
2. *Kak vybrat' i ustanovit' reguliruyushchiy ventil'* [How to choose and install a control valve]. 2023. (In Russ.) Available at: <https://vse-o-trubah.ru/reguliruyushhij-ventil.html>.
3. *Umnyy elektroprivod sharovogo krana vody ili gaza s Wi-Fi ekosistemy Tuya* [Smart electric drive of a ball valve for water or gas with Wi-Fi of the Tuya ecosystem]. 2021. (In Russ.) Available at: <https://www.ixbt.com/live/chome/wifi-umnyy-elektroprivod-sharovogo-krana-vody-ili-gaza-ekosistemy-tuya.html>.
4. *Modeli sharovykh kranov s elektroprivodom* [Models of ball valves with electric drive]. 2023. (In Russ.) Available at: <https://kvanta.ru/zashhita-ot-protechek/modeli-sharovykh-kranov-s-elektroprivodom>.
5. *Sharovye krany s elektroprivodom: osobennosti i preimushchestva* [Electric ball valves: features and benefits]. 2023. (In Russ.) Available at: Electric ball valve: <https://stroy-podskazka.ru/vodosnabzhenie/kran-sharovo-j-s-elektroprivodom/>.
6. *Vybor elektroprivoda Regada dlya upravleniya sharovym kranom* [Selection of Regada electric drive for ball valve control]. 2019. (In Russ.) Available at: http://www.regada.su/guide/podbor_elektroprivoda_dlya_sharovogo_krana/.
7. *Kran sharovoy s elektroprivodom. Varianty ispolneniya* [Ball valve with electric drive. Versions]. 2023. (In Russ.) Available at: <https://gidrolok.ru/page/kran-sharovoy-s-elektroprivodom.html>.
8. *Sharovye krany s elektroprivodom* [Ball valves with electric drive]. 2023. (In Russ.) Available at: <https://www.elektro-expo.ru/ru/articles/2016/sharovye-kran-y-s-elektroprivodom/>.
9. *Avtomaticheskie sharovye krany – printsip raboty* [Automatic ball valves – the principle of operation]. 2023. (In Russ.) Available at: <https://future2day.ru/kran-sharovo-j-s-elektroprivodom-wi-fi/>.
10. Semenov E.I., Ganago A.O., Zhivov L.I. et al. *Kovka i shtampovka* [Forging and stamping]. Moscow: Mashinostroenie; 1987. Vol. 4. 545 p. (In Russ.)
11. Storozhev M.V. (Ed.). *Tekhnologicheskij spravochnik po kovke i ob"emnoy shtampovke* [Technological guide to forging and die forging]. Moscow: Mashinostroenie; 1958. 643 p. (In Russ.)
12. Bryukhanov A.N. *Kovka i ob"emnaya shtampovka* [Forging and die forging]. Moscow: Mashinostroenie; 1975. 402 p. (In Russ.)
13. *GOST 15527–2004*. [Alloys copper-zinc (brass), processed by pressure]. Introduction 2005-07-01. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov; 2004. 11 p. (In Russ.)

14. Osintsev O.S., Fedorov V.N. *Med' i mednye splavy. Otechestvennye i zarubezhnye marki: sprav.* [Copper and copper alloys. Domestic and foreign brands: Ref.]. Ed. 2nd revision and additional. Moscow: Innovatsionnoe mashinostroenie; 2016. 360 p. (In Russ.)

15. Friedlander I.N. (Ed.). *Tsvetnye metally i splavy. Kompozitsionnye metallicheskie materialy. Mashinostroenie. Entsiklopediya v soroka tomakh. Razdel II. Materialy v mashinostroenii. T. II-3* [Non-ferrous metals and alloys. Composite metallic materials. Engineering. Encyclopedia in forty volumes. Section II. Materials in mechanical engineering. Vol. II-3]. Moscow: Mashinostroenie; 2001. 870 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Левин Дмитрий Олегович, исполнительный директор, ООО «ЛД Прайд», Челябинск, Россия; office@ld-pride.ru.

Иванов Василий Александрович, старший преподаватель кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ivanovva@susu.ru.

Усов Денис Алексеевич, начальник технического отдела, ООО «ЛД Прайд», Челябинск, Россия; udaldpride@gmail.com.

Стругов Сергей Сергеевич, технолог, ООО «ЛД Прайд», Челябинск, Россия; strugov_s174@mail.ru.

Information about the authors

Dmitriy O. Levin, Executive Director, LLC “LD Pride”, Chelyabinsk, Russia; office@ld-pride.ru.

Vasiliy A. Ivanov, Senior Lecturer of the Department of Processes and Machines of Metal Forming, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; ivanovva@susu.ru.

Denis A. Usov, Head of the Technical Department, LLC “LD Pride”, Chelyabinsk, Russia; udaldpride@gmail.com.

Sergey S. Strugov, Technologist, LLC “LD Pride”, Chelyabinsk, Russia; strugov_s174@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 01.03.2023

The article was submitted 01.03.2023