

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. №10 (148). С.3-9.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. №10 (148). P. 3-9.

Научная статья
УДК 621.983.3.539.376
doi: 10.30987/2223-4608-2023-3-9

Изотермическая высадка титановых прутковых заготовок пуансоном с косой рабочей поверхностью

Сергей Николаевич Ларин¹, д.т.н.

Юлия Вячеславовна Бессмертная², к.т.н.

^{1, 2} Тульский государственный университет, Тула, Россия

¹ mpf-tula@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9063-1548>

² bessmertny@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Аннотация. В статье рассмотрена операция получения цилиндрических изделий с наклонным фланцем из титанового сплава ВТ6. Операция заключается в воздействии на прутковую заготовку из титанового сплава ВТ6 пуансоном со скошенной рабочей кромкой. При получении деталей с наклонным фланцем из труднодеформируемых сплавов необходима формулировка режимов технологии. Требуется уточнение скоростей деформирования и воздействия контактного трения на кинематику течения материала и силы формоизменения для оценки возможностей процесса выполнено САЕ-моделирование. Поэтому выполнено моделирование операции получения цилиндрических изделий с наклонным фланцем из титанового сплава ВТ6 в программе для моделирования DEFORM. Установлено влияние скоростных условий операции на изменение величин интенсивностей напряжений в изделии. Выявлены зависимости влияния углов и скоростей деформирования на силу высадки. Результаты теоретических исследований, полученных в ходе моделирования, были обобщены. Был выполнен регрессионный анализ полученных в ходе моделирования результатов. По результатам моделирования получены выражения для оценки интенсивности напряжений. Результаты регрессионного моделирования хорошо согласуются с результатами компьютерного моделирования. Используя количественные результаты моделирования, проведена регрессионная оценка силы. Получены уравнения регрессии в натуральных значениях для оценки влияния ключевых параметров процесса при высадке, которые могут быть полезны непосредственно при назначении технологических режимов высадки заготовок из титановых сплавов. Результаты могут быть использованы при реализации технологий изготовления деталей с фланцевыми утолщениями, отличающихся наилучшими прочностными характеристиками и обладающих стойкостью к нагрузкам.

Ключевые слова: высадка, исследование, формоизменение, моделирование

Благодарности: работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами» научного проекта: «Объемное деформирование с локальным нагревом прутковых и трубных заготовок из высокопрочных цветных сплавов» №23-29-00470.

Для цитирования: Ларин С.Н., Бессмертная Ю.В. Изотермическая высадка титановых прутковых заготовок пуансоном с косой рабочей поверхностью // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. № 10 (148). С. 3–9. doi: 10.30987/2223-4608-2023-3-9

Isothermal upset of titanium rod blanks using a punch with a ruled surface with a ruled surface

Sergey N. Larin¹, D. Eng.
Yulia V. Bessmertnaya², PhD. Eng.
^{1,2} Tula State University, Tula, Russia
¹ mpf-tula@rambler.ru
² bessmertny@rambler.ru

Abstract. The operation of obtaining cylindrical products with a titling pad made of titanium alloy VT6 is viewed in the article. The operation involves impacting a bar blank made of titanium alloy VT6 with the use of a punch having sloped edge. When obtaining parts having titling pad made of difficult-to-form alloys, it is necessary to formulate the modes of technology. It is required to specify the rates of deformation and the impact of contact friction on the kinematics of the material flow and the force of shape change to assess the capabilities of the process performed by CAE modeling. Therefore, the simulation of obtaining cylindrical products with a titling pad made of titanium alloy VT6 was performed in the DEFORM modeling program. The influence of the speed conditions of the operation on the change in the values of stress intensities in the product was found. The dependences of the influence of the angles and rates of deformation on the landing force are revealed. The results of theoretical studies obtained during the simulation were summarized. A regression analysis of the results obtained during the simulation was performed. Based on the simulation results, expressions for estimating the intensity of stresses are obtained. The results of regression modeling are in good agreement with the results of computer modeling. Using quantitative modeling results, a regression assessment of the force was taken. Regression equations in natural values are obtained for the assessment of the impact of key process parameters during setup, which can be useful directly when assigning technological modes of titanium alloy blanks setup. The results can be used in the implementation of manufacturing technologies for parts with flange seals, characterized by the best strength characteristics and good load resistance.

Keywords: setup, research, change of shape, modeling

Acknowledgements: the work was carried out with the support of a grant from the Russian Scientific Foundation «Conducting fundamental scientific research and exploratory scientific research by small separate scientific groups» of the scientific project: «Volumetric deformation with local heating of rod and tube blanks made of high-strength non-ferrous alloys» No. 23-29-00470.

For citation: Larin S.N., Bessmertnaya Yu.V. Isothermal upset of titanium rod blanks using a punch with a ruled surface / Science intensive technologies in mechanical engineering.2023. № 10 (148). P. 3–9. doi: 10.30987/2223-4608-2023-3-9

Сплошные цилиндрические детали с фланцем распространены в машиностроении. Технологии их получения достаточно отработаны [1 – 4]. В основном их получают высадкой. Но при получении деталей с наклонным фланцем из труднодеформируемых сплавов необходимо уточнение режимов технологии изготовления [5 – 8]. Требуется уточнение скоростей деформирования и воздействия контактного трения на кинематику течения материала и силы формоизменения [9 – 12]. Весьма удобным инструментом для этого является моделирование данного процесса в САЕ-комплексе [13 – 15]. Поэтому выполнено моделирование операции получения цилиндрических изделий с наклонным фланцем из титанового сплава VT6. Выявлено влияние угла скоса пуансона, контактного трения и скоростей формоизменения на силы высадки и кинематику течения материала заготовки.

Исследована осадка прутка диаметром 60 мм. Схема процесса представлена на рис. 1.

При расчетах считаем, что свободная часть заготовки имеет высоту h , равную двум диаметрам $h = 2d$. Влияние скорости деформирования исследовалось в интервале 1,0...200 мм/мин. Материал заготовки – сплав VT6. Процесс рассчитывался при температуре деформирования 900 °С. Угол конусности пуансона $\alpha = 0...7,0^\circ$. Ход инструмента рассматривался в интервале $h = 0...0,9 \cdot h_0$.

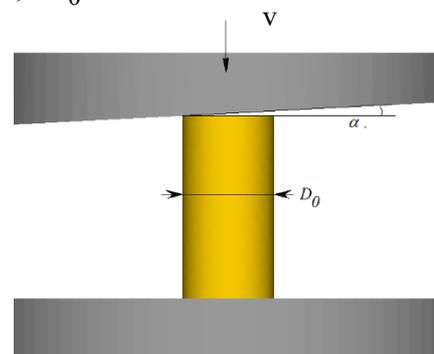


Рис. 1. Эскиз исследуемой операции

Fig. 1. Sketch of the operation under study

Схемы процесса высадки на конечном этапе при наибольшей величине силы для разных значений угла α и с разными скоростями деформирования представлены на рис. 2 – 4.

Данные схемы иллюстрируют изменение интенсивностей напряжений для варьируемых параметров.

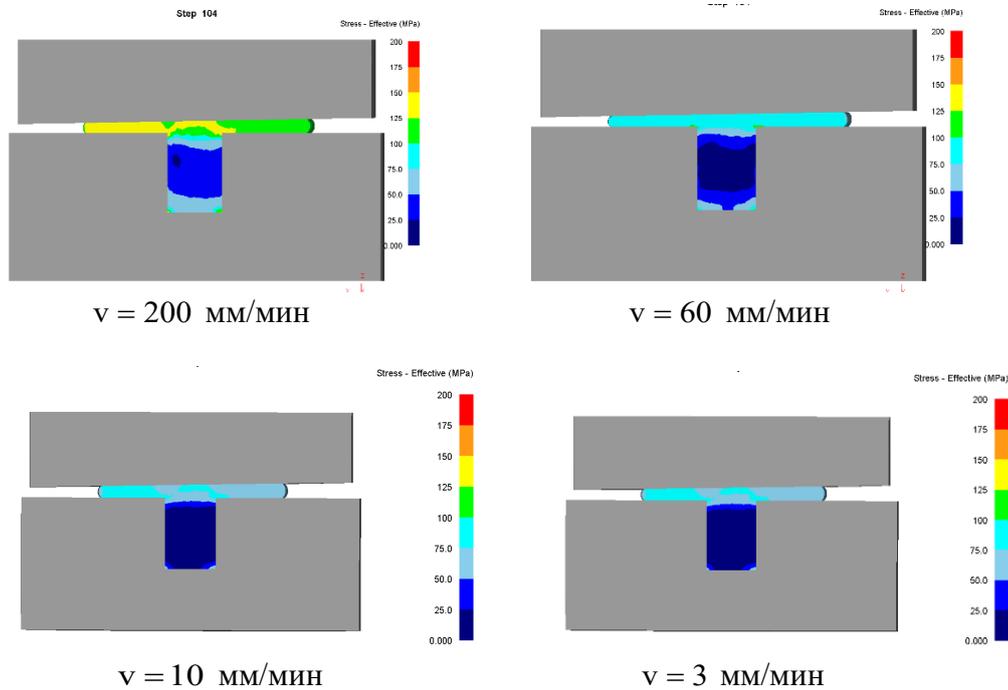


Рис. 2. Схемы процесса высадки скошенным пуансоном с углом скоса $1,0^\circ$

Fig. 2. Schemes of setup process using a titling pad with an obliquity angle $1,0^\circ$

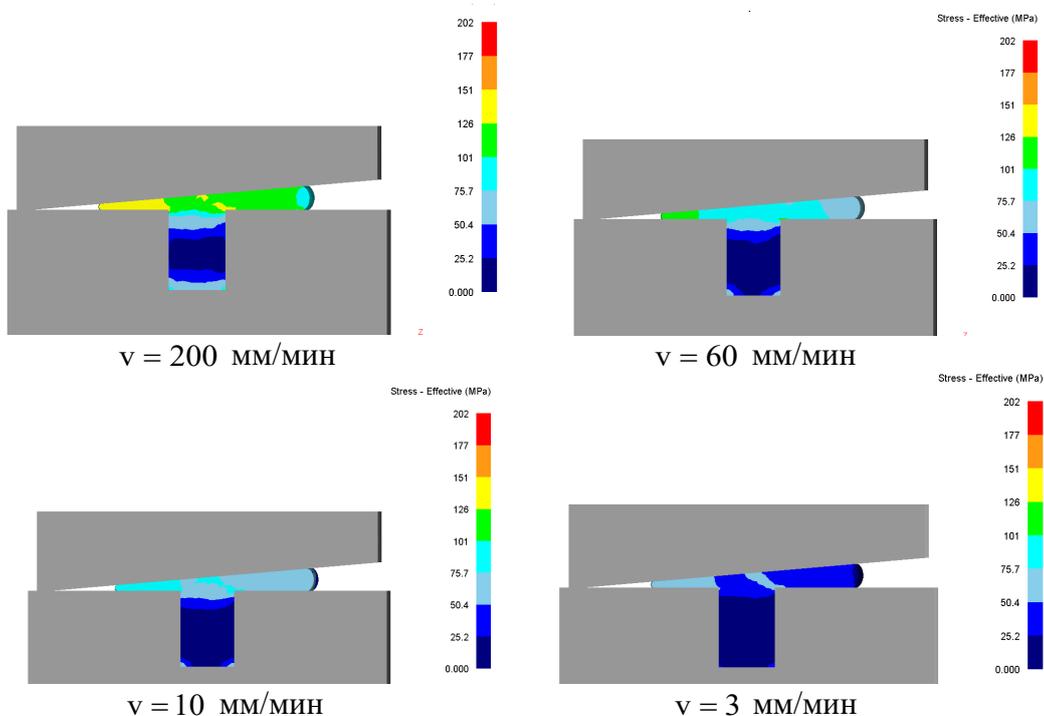


Рис. 3. Схемы процесса высадки скошенным пуансоном с углом скоса $5,0^\circ$

Fig. 3. Schemes of setup process using a titling pad with an obliquity angle $5,0^\circ$

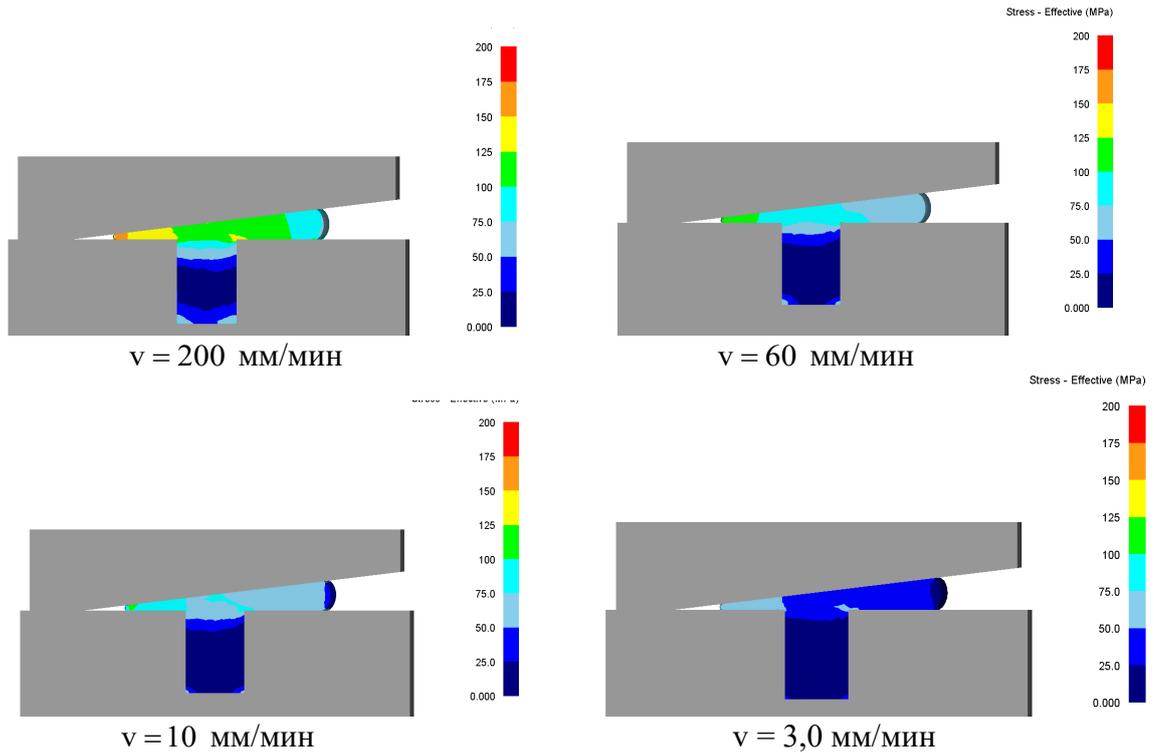


Рис. 4. Схемы процесса высадки скошенным пуансоном с углом скоса $7,0^\circ$

Fig. 4. Schemes of setup process using a tilting pad with an obliquity angle $7,0^\circ$

Установлено, что на изменение интенсивностей напряжений в объеме детали наибольшее влияние оказывает изменение скоростных режимов операции. Рост скоростей деформирования приводит к увеличению значений интенсивностей напряжений в два раза. Увеличение угла скоса пуансона ведет к росту интенсивностей напряжений на 20...25 %.

Выявленные зависимости влияния углов α и скоростей деформирования на силу процесса высадки приведены на рис. 5 и рис. 6.

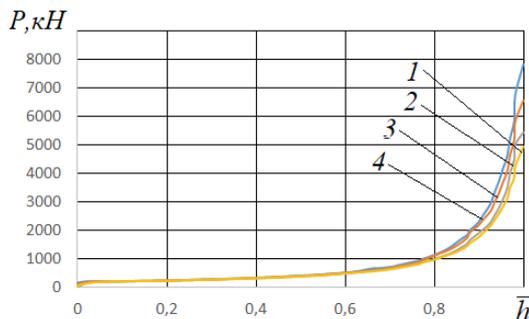


Рис. 5. Изменение силы высадки в течении операции:

1 – $\alpha = 1,0^\circ$; 2 – $\alpha = 3,0^\circ$; 3 – $\alpha = 5,0^\circ$; 4 – $\alpha = 7,0^\circ$

Fig. 5. Change in setup force during the operation:

1 – $\alpha = 1,0^\circ$; 2 – $\alpha = 3,0^\circ$; 3 – $\alpha = 5,0^\circ$; 4 – $\alpha = 7,0^\circ$

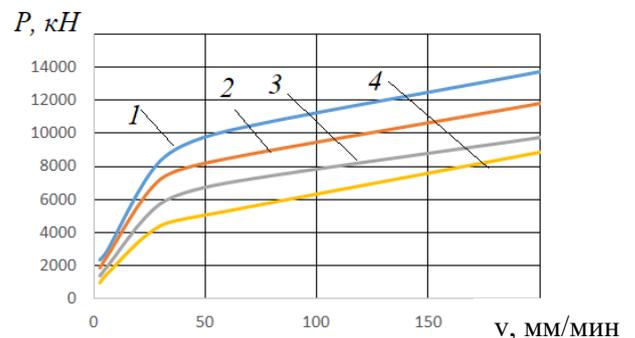
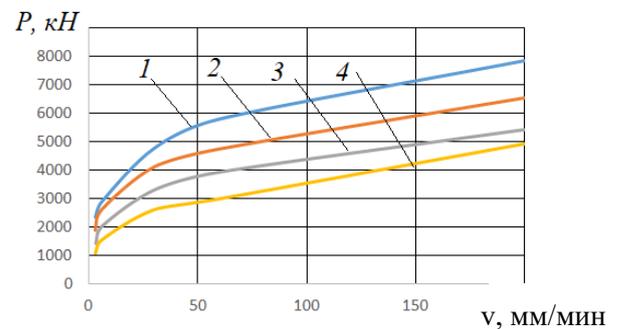


Рис. 6. Изменение силы высадки от скорости деформирования

1 – $\alpha = 1,0^\circ$; 2 – $\alpha = 3,0^\circ$; 3 – $\alpha = 5,0^\circ$; 4 – $\alpha = 7,0^\circ$

Fig. 6. Change in setup force depending on the deformation rate

1 – $\alpha = 1,0^\circ$; 2 – $\alpha = 3,0^\circ$; 3 – $\alpha = 5,0^\circ$; 4 – $\alpha = 7,0^\circ$

Изменённые силы высадки в зависимости от скоростей деформирования и угла конусности носит характер похожий на изменение интенсивностей напряжений. Рост скорости перемещения инструмента в интервале 3...200 мм/мин может приводить к увеличению силовой нагрузки в четыре раза для пуансонов с большими углами конусности и в пять раз для пуансонов с меньшими углами конусности. Рост угла конуса пуансона ведет к снижению силы на 50 %. Разница в величинах углов конусности становится заметной в конце рабочего хода инструмента.

Результаты теоретических исследований, полученных в ходе моделирования, были обобщены. А именно был выполнен регрессионный анализ полученных в ходе моделирования результатов. В качестве входных параметров были приняты скорость деформирования X_1 , угол пуансона X_2 и коэффициент трения X_3 . Данные для регрессионного моделирования приведены в табл. 1. Матрица планирования представлена в табл. 2 [12].

1. Факторное пространство оценки силы вытяжки

1. Factor space for estimating the drawing force

Факторы			Уровни варьирования факторов		
Наименование фактора	Натуральное значение фактора	Кодированное обозначение фактора	$X_{i\min}$ ($X_i = -1$)	X_{i0} ($X_i = 0$)	$X_{i\max}$ ($X_i = +1$)
Скорость деформирования	v	X_1	5,0	17,5	30
Угол пуансона	a	X_2	1,0	4,0	7,0
Коэффициент трения	m_u	X_3	0,3	0,4	0,5

2. Матрица планирования

2. Planning matrix

№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	\bar{Y}_4
1	+	-	-	-	2500
2	+	+	-	-	5500
3	+	-	+	-	1400
4	+	+	+	-	3000
5	+	-	-	+	1300
6	+	+	-	+	4600
7	+	-	+	+	765
8	+	+	+	+	2300

По результатам моделирования получены выражения для оценки интенсивности напряжений в кодированных и натуральных величинах:

$$P = 2670 + 1179X_1 - 804X_2 - 429X_3 - 395X_1X_2;$$

$$P = 10,5va + 52,18v + 83,6a - 1231 + 4790m.$$

Результаты регрессионного моделирования хорошо согласуются с результатами компьютерного моделирования. Наибольшее влияние на силовые режимы оказывает скорость деформирования. Таким образом, при необходимости формирования скоса на заготовке с углами более $3,0^\circ$ обеспечение скоростных условий в интервале 3,0...30 мм/мин позволяет обеспечить снижение силовой нагрузки и снижению неравномерности напряженного состояния. Полученные результаты можно использовать при разработке технологий высадки изделий со скошенным фланцем как рекомендации для назначения режимов деформирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Demin V. A., Larin S. N., Riskin R. V., Rizkova A. A. Study the influence of anisotropy of the drawing cylindrical part // CIS Iron and Steel Review / Vol. 16 (2018), pp. 25–28
2. Ларин С.Н., Платонов В.И., Ларина М.В. Влияние геометрии деформирующего инструмента на напряженно-деформированное состояние при комбинированном выдавливании // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 5. С. 451–456.
3. Zhichao Sun, Jing Cao, Huili Wu, Zhikun Yin. Inhomogeneous deformation law in forming of multi-cavity parts under complex loading path // Journal of Materials Processing Technology. 2018. Vol. 254. P. 179–192.
4. Springer P., Prah U. Characterisation of mechanical behavior of 18CrNiMo7-6 steel with and without under warm forging conditions through processing maps analysis // Journal of Materials Processing Technology, 2016. Vol. 237. P. 216–234.
5. Демин В.А., Ларин С.Н. Технологическое обеспечение и повышение качества заготовок, получаемых обработкой металла давлением // Научные технологии в машиностроении. 2022. № 8 (134). С. 12–19.
6. Aksenov S. A., Chumachenko E. N., Kolesnikov A. V., Osipov S. A. Determination of optimal gas forming conditions from free bulging tests at constant pressure Journal of Materials Processing Technology. 2015. Vol. 217. P. 158–164.

7. Ларин С.Н., Пасынков А.А., Нуждин Г.А. Обратное выдавливание прутковой заготовки с активным трением и вытяжкой утолщения на торце // Научные технологии в машиностроении. 2020. № 6 (108). С. 16–20.
8. Малинин Н.Н. Ползучесть в обработке металлов. М.: Машиностроение, 1986. 216 с.
9. Пасынков А.А., Борискин О.И., Ларин С.Н. Теоретические исследования операции изотермической раздачи труб из труднодеформируемых цветных сплавов в условиях кратковременной ползучести // Цветные металлы. 2018. № 2. С. 74–78.
10. Larin S.N., Pasyнков A.A. Analysis of forming properties during the isothermal upsetting of cylindrical workpieces in the viscous-plasticity mode // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 441. Issue 1, 2. November 2018.
11. Теория пластических деформаций металлов / Е. П. Унков, У. Джонсон, В. Л. Колмогоров и др. М.: Машиностроение, 1983. 598 с.
12. Панфилов Г.В., Недошивин С.В., Перминов Д.А. Применение статистического машинного эксперимента для исследования теоретической модели штамповки сердечников пуль // Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. Тула: Изд-во ТулГУ. 2014. Вып. 6. С. 61–73.
13. Черняев А.В., Чарин А.В., Гладков В.А. Исследование силовых режимов радиального выдавливания внутренних утолщений на трубных заготовках // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 10. С. 440–445.
14. Теория обработки металлов давлением / Учебник для вузов / В.А. Голенков, С.П. Яковлев, С.А. Головин, С.С. Яковлев, В.Д. Кухарь / Под ред. В.А. Голенкова, С.П. Яковлева. М.: Машиностроение, 2009. 442 с.
15. Пасынков А.А., Ларин С.Н., Исаева А.Н. Теоретическое обоснование схемы обратного изотермического выдавливания трубной заготовки с активным трением и вытяжкой ее краевой части // Заготовительные производства в машиностроении. 2020. №10. С. 462–465

REFERENCES

1. Demin V. A., Larin S. N., Riskin R. V., Rizkova A. A. Study the influence of anisotropy of the drawing cylindrical part // CIS Iron and Steel Review / Vol. 16 (2018), pp. 25–28
2. Larin S.N., Platonov V.I., Larina M.V. Influence of the geometry of the deforming tool on the stress-strain state during combined extrusion // Bulletin of the Tula State University. Technical sciences, 2020, No. 5. pp. 451–456
3. Zhichao Sun, Jing Cao, Huili Wu, Zhikun Yin. Inhomogeneous deformation law in forming of multi-cavity parts under complex loading path // Journal of Materials Processing Technology. 2018. Vol. 254. P. 179–192.
4. Springer P., Prah U. Characterisation of mechanical behavior of 18CrNiMo7-6 steel with and without under warm forging conditions through processing maps analysis // Journal

of Materials Processing Technology, 2016. Vol. 237. P. 216–234.

5. Demin V.A., Larin S.N. Technological support and improvement of the quality of blanks obtained by metal pressure treatment // Science-intensive technologies in mechanical engineering, 2022, No. 8 (134), pp. 12–19.

6. Aksenov S.A., Chumachenko E.N., Kolesnikov A.V., Osipov S.A. Determination of optimal gas forming conditions from free bulging tests at constant pressure Journal of Materials Processing Technology. 2015. Vol. 217. P. 158–164.

7. Larin S.N., Pasyнков A.A., Nuzhdin G.A. Reverse extrusion of a rod blank with active friction and extrusion of thickening at the end // Science intensive technologies in mechanical engineering, 2020, No. 6 (108), pp. 16–20.

8. Malinin N.N. Creep in metal processing. Moscow: Mashinostroenie, 1986. 216 p.

9. Pasyнков A.A., Boriskin O.I., Larin S.N. Theoretical studies of the operation of isothermal distribution of pipes from difficult-to-form non-ferrous cavities in conditions of short-term creep // Non-ferrous metals, 2018, No. 2, pp. 74–78.

10. Larin S.N., Pasyнков A.A. Analysis of forming properties during the isothermal upsetting of cylindrical

workpieces in the viscous-plasticity mode // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 441. Issue 1, 2. November 2018.

11. Theory of plastic deformations of metals / E. P. Unksov, W. Johnson, V. L. Kolmogorov et al. Moscow: Mashinostroenie, 1983, 598 p.

12. Panfilov G.V., Nedoshivin S.V., Perminov D.A. Application of statistical machine experiment for investigating theoretical models stamping cores bullets. Izvestiya Tula State University: Technical Sciences Series. 2014, No. 6, pp. 61–73.

13. Chernyaev A.V., Charin A.V., Gladkov V.A. Study of power modes of the radial extrusion of internal thicknesses on pipe works. Izvestiya Tula State University: Technical Sciences Series. 2014, No.10, pp. 440–445.

14. Theory of metal pressure forming: college textbook / V.A. Golenkov, S.P. Yakovlev, S.A. Golovin, S.S. Yakovlev, V.D. Kukhar / Edited by V.A. Golenkov, S.P. Yakovlev. Moscow: Mashinostroenie, 2009. 442 p.

15. Pasyнков A.A., Larin S.N., Isaeva A.N. Theoretical studies of the operation of isothermal expansion of pipes from difficult-to-form non-ferrous alloys in conditions of short-term creep. / Blank production in machine-building, 2020, No. 10, pp. 462–465

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 31.07.2023; одобрена после рецензирования 06.08.2023; принята к публикации 11.08.2023.

The article was submitted 31.07.2023; approved after reviewing 06.08.2023; asseped for publication 11.08.2023.

