

УДК 621.983.3.539.376

DOI:10.30987/2223-4608-2021-12-7-11

А.А. Пасынков, к.т.н.,

Б.С. Яковлев, к.т.н.

(ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», 300012, пр. Ленина, д. 92)

E-mail: mpf-tula@rambler.ru

Горячий обжим крупногабаритных трубных заготовок*

Приводятся обобщенные результаты моделирования процесса обжима габаритных трубных заготовок из титанового сплава ВТ6. На основе результатов моделирования данной операции выполнено статическое исследование, по результатам которого получены регрессионные зависимости, позволяющие оценить влияние комплекса различных параметров данной технологии на силу процесса.

Ключевые слова: обжим; горячее деформирование; трубные заготовки; сила; моделирование.

A.A. Pasyнков, Can.Sc.Tech.,

B.S. Yakovlev, Can.Sc.Tech.

(Tula State University, 92, Lenin Ave., 300012)

Hot breaking-down of large-sized pipe stocks

The generalized results of breaking-down modeling process of large-format pipe stocks made of titanium alloy VT6 are presented. Based on the simulation results of this operation, a static study has been undertaken, according to its results regression dependencies have been obtained, which contribute to assess the impact of a various parameter complex of this technology on the efficacy of the process.

Keywords: breaking-down; hot working; pipe stocks; efficacy; modeling.

Элементы узлов различной техники, в том числе и специального назначения, представляющие собой цилиндрические оболочки с разной величиной площади поперечного сечения по высоте, целесообразно получать методами формоизменения. Однако назначение данных изделий подразумевает использование сталей и сплавов повышенной прочности, что сказывается на возможностях штамповки данных изделий.

Ввиду этого применение нагрева заготовок и варьирование скоростей деформирования может обеспечить функционирование данной технологии с минимальными силами и обеспечением требуемых качественных показателей деталей.

Вопросам обжима трубных заготовок в режиме горячей штамповки уделено значительное внимание. Большой вклад в развитие дан-

ной тематики исследований внесли многие отечественные и зарубежные исследователи [1 – 10]. Но, несмотря на большой задел в данной области, вопросы комплексного влияния различных параметров технологии описаны в объеме, не позволяющим полностью описать данные технологии.

Поэтому в статье рассмотрено влияние различных технологических факторов при обжиме габаритных заготовок из деформируемого титанового сплава ВТ6 на силу процесса. Для моделирования процесса применялся комплекс DEFORM. Трубы под штамповку имели радиальные размеры 300...500 мм с толщиной стенки 20...50 мм. Деформирование осуществляется при полной рекристаллизации (температура нагрева заготовки 900 °С). Скорость деформирования принималась равной 1...30 мм/с. На рис. 1 дан эскиз процесса обжима.

Выполнялся комплекс расчётов для разных комбинаций рассматриваемых параметров

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант РФФИ № 20-08-00541.

технологии. Выполнен анализ влияния исследуемых параметров на характеристики геометрии изделий. На рис. 2 даны схемы, иллюстрирующие влияние основных параметров технологии на геометрию изделий.

В ходе моделирования установлены значения сил деформирования. На рис. 3 представлены зависимости изменения сил деформирования при изменении скорости деформирования для разных значений диаметра исходной заготовки и толщины стенок заготовки.

Полученные результаты позволяют количественно оценить влияние скорости деформирования, диаметра заготовки и толщины на силу обжима. По результатам моделирования выполнено статистическое исследование, позволяющее выявить влияние основных параметров процесса на силу обжима. По результатам моделирования были получены данные по силовым режимам, которые сведены в факторное пространство, представленное в табл. 1. В

табл. 2 даны матрица планирования и данные по силовым режимам.

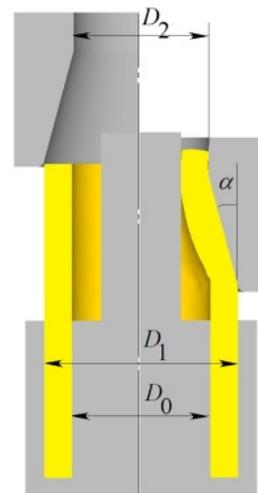


Рис. 1. Эскиз исследуемой операции

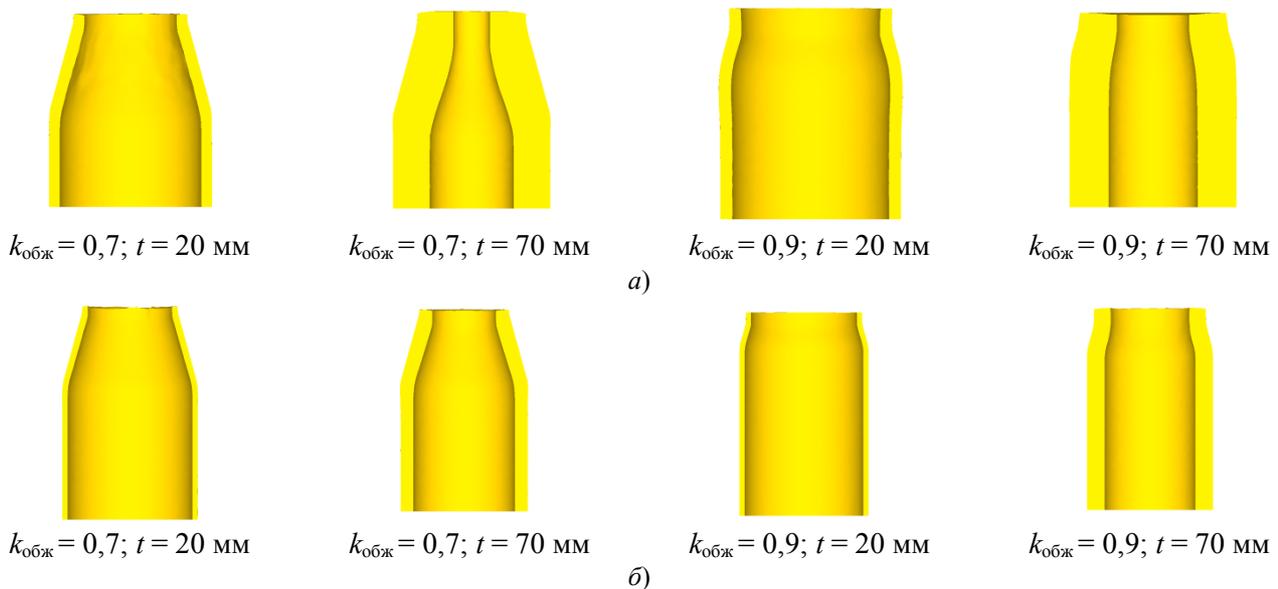


Рис. 2. К оценке формирования геометрии изделий: а – $D_1 = 300$ мм; б – $D_1 = 500$ мм

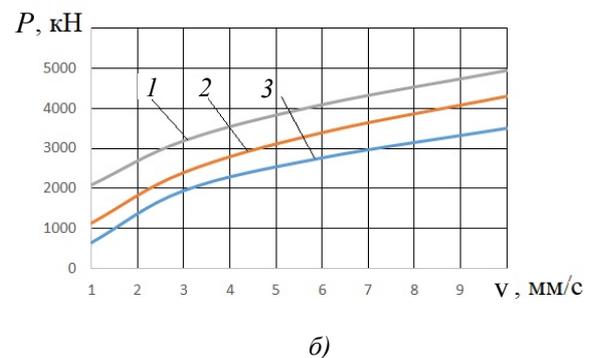
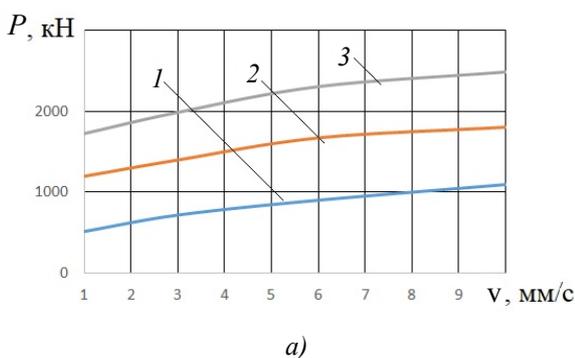


Рис. 3. Зависимость силы деформирования от скорости деформирования: а – $D_1 = 200$ мм; б – $D_1 = 500$ мм; 1 – $t = 20$ мм; 2 – $t = 40$ мм; 3 – $t = 70$ мм

1. Факторное пространство оценки силы обжима

Факторы				Уровни варьирования факторов		
№	Наименование фактора	Натуральное значение фактора	Кодированное обозначение фактора	$X_{i \min} (X_i = -1)$	$X_{i0} (X_i = 0)$	$X_{i \max} (X_i = +1)$
1	Диаметр заготовки	D_1	X_1	300	400	500
2	Коэффициент обжима	$k_{обж}$	X_2	0,7	0,8	0,9
3	Толщина	t	X_3	20	45	70
4	Скорость	v	X_4	1	5,5	10

2. Матрица планирования

№ опыта	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	\bar{Y}_1	\bar{Y}_2	\bar{Y}_3
1	+	-	-	-	-	550,000	605	495
2	+	+	-	-	-	1010,000	1111	909
3	+	-	+	-	-	307,000	337,7	276,3
4	+	+	+	-	-	450,000	495	405
5	+	-	-	+	-	1720,000	1892	1548
6	+	+	-	+	-	2253,000	2478,3	2027,7
7	+	-	+	+	-	480,000	528	432
8	+	+	+	+	-	517,000	568,7	465,3
9	+	-	-	-	+	1090,000	1199	981
10	+	+	-	-	+	2980,000	3278	2682
11	+	-	+	-	+	860,000	946	774
12	+	+	+	-	+	920,000	1012	828
13	+	-	-	+	+	2480,000	2728	2232
14	+	+	-	+	+	3950,000	4345	3555
15	+	-	+	+	+	766,000	842,6	689,4
16	+	+	+	+	+	1510,000	1661	1359

По результатам моделирования были получены уравнения регрессии:

– в кодированных величинах:

$$Y = 1363 + 333X_1 - 638X_2 + 344X_3 + 454X_4 - 210X_1X_2 + 186X_1X_4 - 252X_2X_3 - 166X_2X_4 - 108X_1X_2X_4;$$

– и натуральных величинах:

$$P = 15,97D_1 + 1601k_{обж} - 1009 + 84S - 268v - 18,65D_1k_{обж} + 2,09D_1v - 100k_{обж}S + 351k_{обж}v - 2,4D_1k_{обж}v.$$

Используя полученное выражение по оценке силы деформирования были построены графики зависимости силы обжима от величины степени деформации, диаметра заготовки, толщины стенок материала заготовки и скорости деформирования.

На рис. 4 показано влияние коэффициента обжима и диаметра заготовки на силу деформирования.

Анализ рис. 4 показал, что увеличение коэффициента обжима с 0,6 до 0,9 приводит к снижению силы деформирования в 5 раз для заготовок больших диаметров и в 2 раза для заготовок меньших диаметров.

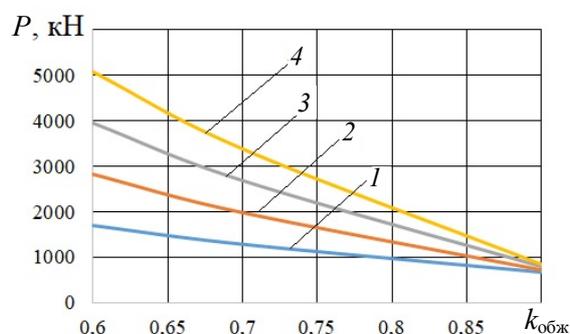


Рис. 4. Зависимость силы деформирования от коэффициента обжима:

1 – $D_1 = 100$ мм; 2 – $D_1 = 200$ мм; 3 – $D_1 = 300$ мм; 4 – $D_1 = 400$ мм

На рис. 5 показано влияние скорости деформирования и толщины стенки заготовки на

силу деформирования.

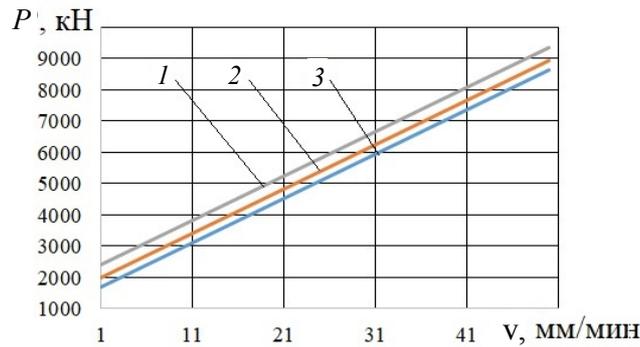


Рис. 5. Зависимость силы деформирования от скорости деформирования:

1 – $t = 20$ мм; 2 – $t = 40$ мм; 3 – $t = 70$ мм

Анализ рис. 5 показал, что увеличение скорости деформирования с 1,0 до 50 мм/с приводит к росту силы деформирования в 4 раза не зависимо от толщины стенки заготовки.

На рис. 6 показано влияние скорости деформирования и коэффициента обжима заготовки на силу деформирования.

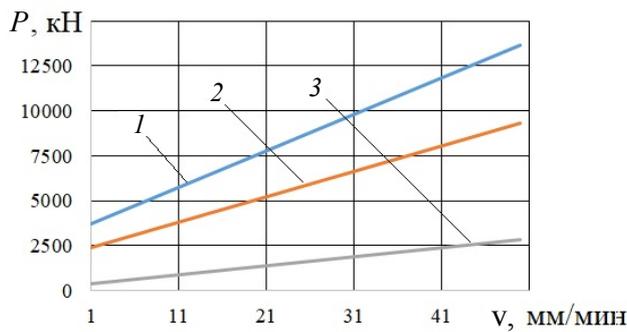


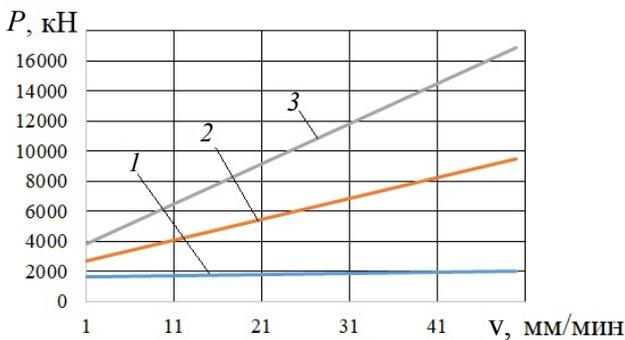
Рис. 6. Зависимость силы деформирования от скорости деформирования:

1 – $k_{обж} = 0,6$; 2 – $k_{обж} = 0,7$; 3 – $k_{обж} = 0,9$

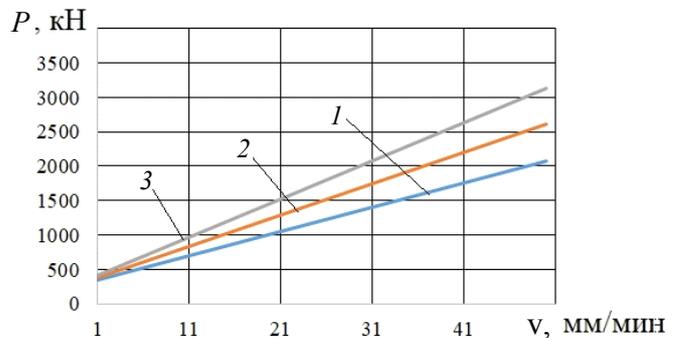
Анализ рис. 6 показал, что увеличение скорости деформирования с 1,0 до 50 мм/с приводит к росту силы деформирования в 4,5 раза для больших степеней деформации и в 3 раза

для меньших степеней деформации.

На рис. 7 показано влияние скорости деформирования и диаметра заготовки на силу деформирования.



а)



б)

Рис. 7. Зависимость силы деформирования от скорости деформирования:

а – $k_{обж} = 0,6$; б – $k_{обж} = 0,9$; 1 – $D_1 = 100$ мм; 2 – $D_1 = 300$ мм; 3 – $D_1 = 500$ мм

Анализ рис. 7 показал, что увеличение скорости деформирования с 1,0 до 50 мм/с при больших степенях деформации приводит к росту силы деформирования в 4 раза для больших значений диаметра заготовки и на 20...40 % для меньших значений диаметра заготовки. Для меньших степеней деформации скорости деформирования с 1,0 до 50 мм/с приводит к росту силы деформирования в 6 раз для больших значений диаметра заготовки и в 4 раза для меньших значений диаметра заготовки.

Выводы

1. На базе анализа результатов исследований установлены зависимости, позволяющие установить влияние таких параметров как степень деформации, диаметр заготовки, толщина стенок материала заготовки и скорость деформирования на силу обжима.

2. Выполненное на базе моделирования статическое исследование позволило получить доступные для практического применения выражения к оценке силы деформирования титанового сплава. Данную зависимость можно использовать в качестве базы для назначения технологических режимов при проектировании технологий обжима габаритных трубных заготовок из трудноформируемых сплавов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.

2. 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.

3. Теория обработки металлов давлением / 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.

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

2. Chernyaev, A.V., Charin, A.V., Gladkov, V.F. Study of power modes of the radial extrusion of internal thicknesses on pipe works. [*Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. ser. Technicheskie nauki*], 2020, No. 10, pp. 440-445.

3. Theory of metal processing by pressure / V.A. Golenkov, S.P. Yakovlev, S.A. Golovin, S.S. Yakovlev, V.D. Kukhar / Edited by V.A. Golenkov, S.P. Yakovlev, M.: Mashinostroenie, 2009, 442 p.

4. Pasyнков, A.A., Larin, S.N., Isaeva, A.N. Theoretical underpinning of the scheme of reverse isothermal pipe stock pressing with active friction and extraction of its edge part. *Blank production in mechanical engineering*, 2020, No. 10, pp. 462-465.

*Рецензент д.т.н.
Виктор Иванович Трегубов*

