

УДК 620.18:621.791  
DOI: 10.30987/2223-4608-2021-12-3-6

**С.Н. Ларин, д.т.н.,  
М.В. Ларина, к.т.н.**  
(ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», 300012, пр. Ленина, д. 92)  
E-mail: mpf-tula@rambler.ru

## **Напряженное состояние изделий при обжиге с утонением элемента трубной заготовки\***

*На основании данных, полученных в ходе моделирования процесса обжига и одновременного утонения элемента трубной заготовки, выполнена оценка напряженного состояния оболочек в зоне деформаций. Установлено влияние величин контактного трения, конусности инструмента и степеней деформации на максимальные значения напряжений и их неоднородность.*

**Ключевые слова:** обжим; утонение; трубные оболочки; напряжение; анализ.

**S.N. Larin, Dr. Sc.Tech.,  
M.V. Larina, Can.Sc.Tech.**  
(Tula State University, 92, Lenin Ave., 300012)

## **Products stress during breaking-down with thinning-out of the pipe stock element**

*Based on the data obtained during the simulation of breaking-down and thinning-out simultaneously of the pipe stock element, the stress state of pipe jackets in the deformation zone has been evaluated. The influence of the contact friction magnitude, the tool conicity and the degrees of deformation on the maximum stress values and their heterogeneity have been determined.*

**Keywords:** breaking-down; thinning-out; pipe jackets; stress; study case.

Изделия, являющиеся различными переходниками в системах трубопроводов или элементами различного рода сборных оболочек должны обладать определенными прочностными характеристиками и достаточно высокой точностью в местах соединения с другими элементами конструкций [1 – 4]. Поэтому необходимо обеспечить высокие характеристики точности и прочности. Обработка давлением позволяет достичь заданных показателей [5 – 6].

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант РФФИ № 20-08-00401.

В статье рассмотрена операция, при которой за один рабочий ход пуансона реализуется одновременно обжим и утонение элемента стенки изделия. Одновременное утонение стенки позволяет откалибровать участок трубы меньшего диаметра, являющегося наиболее ответственным в ходе дальнейшей эксплуатации частью. Важным является оценка напряженного состояния заготовок в процессе деформирования в целях определения рациональных режимов штамповки.

Моделирование процесса обжима с утонением стенки осуществлялось в комплексе

DEFORM. Считалось, что деформирование заготовки из стали 10 осуществлялось при постоянной температуре 20 °С. На рис. 1 дана схема операции.

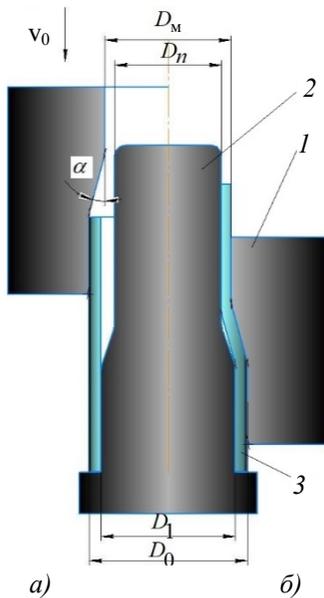


Рис. 1. Схема обжима с утонением:

а – положение инструмента до обжима; б – положение инструмента после обжима; 1 – матрица; 2 – оправка; 3 – заготовка

Диаметр исходной заготовки  $D_0 = 80$  мм; толщина стенки  $s = 5$  мм; высота заготовки – 120 мм; рабочий ход – 50 мм. Величину утонения стенки заготовок оценивали по закону Зибеля. Степень деформации оценивалась коэффициентом обжима, в интервале 0,6...0,8. Степень утонения по выражению  $k_{yt} = (D_0 - D_1) / (D_m - D_n) = 0,8...1$ . Угол конусности матрицы варьировался в диапазоне 10...30°.

Для анализа напряжённого состояния заготовок в зоне деформирования были выбраны три точки, схема с расположением которых дана на рис. 2. Выбранные точки выбирались в зоне утонения краевых элементов заготовки на внутренней и наружной поверхностях и в центральной области стенки.

В данных контрольных точках выполнена оценка относительных средних нормальных напряжений ( $\bar{\sigma} = \sigma / \sigma_s$ ) в зависимости от относительной величины хода рабочего инструмента  $\bar{h} = h / h_0$  при фиксированных параметрах  $\alpha = 15^\circ$ ;  $k_{об} = 0,65$ ;  $k_{yt} = 0,9$ ;  $\mu = 0,12$  (рис. 3).

Результаты анализа изменения относительных величин средних напряжений показывают, что напряжения имеют максимальную величину (растягивающие) на краевой зоне заготовки на неустановившейся стадии утонения

стенки и на установившейся стадии обжима (сжимающие). В целом изменение напряжений для выбранных точек носит похожий характер. Основная разница напряженного состояния для рассматриваемых точек в величинах напряжений. На стадии обжима величины напряжений монотонно снижаются. На стадии утонения стенки происходит резкий рост растягивающих напряжений. Затем происходит их снижение с небольшим ростом в конце процесса.

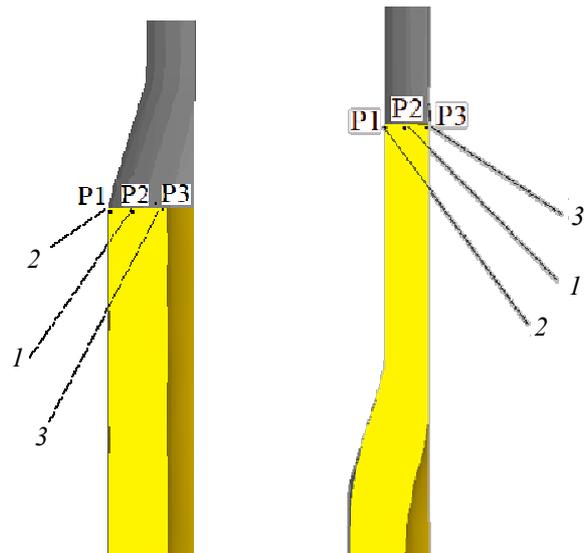


Рис. 2. Схема к оценке положения точек для оценки напряженного состояния

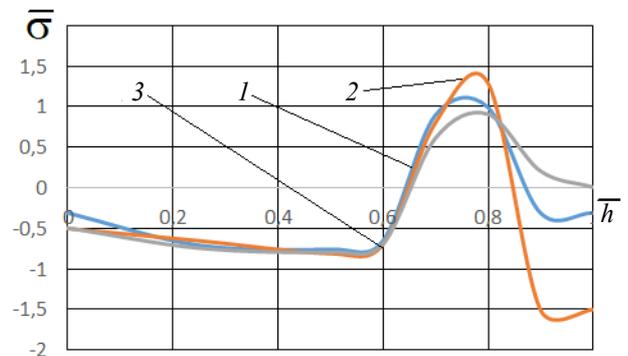


Рис. 3. Зависимости изменения  $\bar{\sigma}$  от  $\bar{h}$

Для оценки характера влияния технологических параметров на напряженное состояние заготовки использовалась величина неоднородности напряжений. Она определялась как разница максимальных и минимальных напряжений отнесенная к величине средних напряжений. На рис. 4 дана графическая зависимость влияния угла конусности матрицы на значения неоднородности напряжений при  $k_{об} = 0,7$ ;  $k_{yt} = 1,0$ ;  $\mu = 0,10$  для выбранных точек.

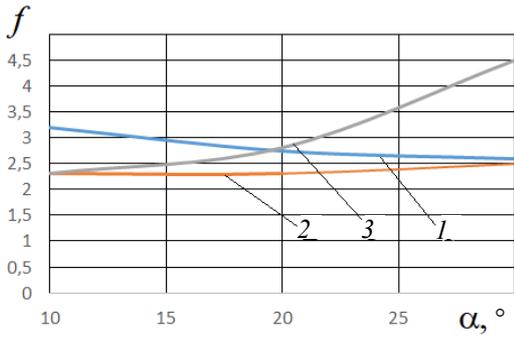


Рис. 4. Зависимость неоднородности напряжений от  $\alpha$

Установлено, что изменение величины ко-

нусности инструмента по-разному влияет на значения неравномерности напряжений для разных зон заготовки. Для наружных слоев заготовок изменение угла конусности не заметно влияет на неравномерности напряжений. Для внутренней зоны заготовки увеличение угла конусности приводит к снижению неравномерности напряжений на 20 %. Для внутреннего слоя заготовки увеличение угла конусности приводит к росту неравномерности напряжений на 80 %.

На рис. 5 дана графическая зависимость влияния трения на значения неоднородности напряжений при  $\alpha = 15^\circ$ ;  $k_{об} = 0,65$ ;  $k_{ут} = 1,0$  для выбранных точек.

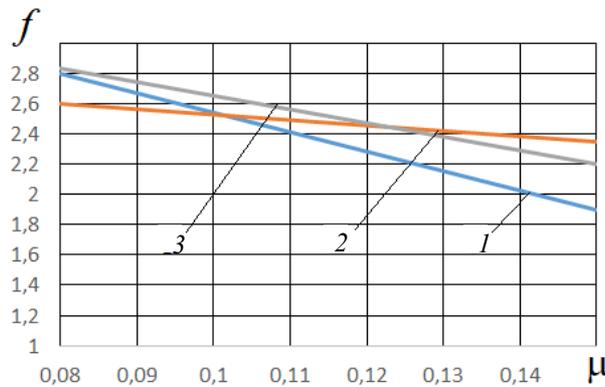


Рис. 5. Зависимость неоднородности напряжений от  $\mu$

Установлено, что увеличение коэффициента трения приводит к снижению неравномерности напряжений для всех контрольных точек. Установлено, что наибольшая интенсивность изменения неравномерности напряжений соответствует внутренней зоне заготовки

(50 %). Для наружных зон заготовки неравномерности напряжений снижается на 20 %.

На рис. 6 дана графическая зависимость влияния коэффициента обжима на значения неоднородности напряжений при  $\alpha = 15^\circ$ ;  $k_{ут} = 1,0$ ;  $\mu = 0,1$  для выбранных точек.

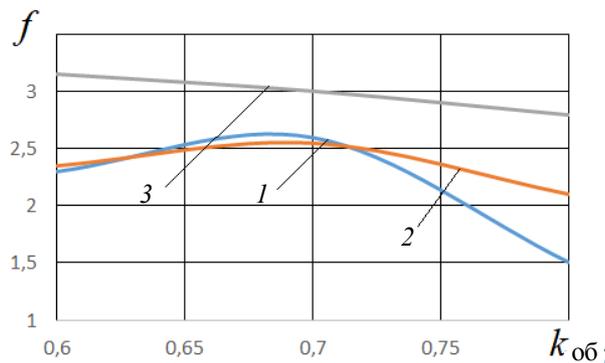


Рис. 6. Зависимость неоднородности напряжений от  $k_{об}$

Изменение степени деформации по-разному влияет на неравномерность напряжений для разных зон заготовки. Увеличение коэффициента обжима приводит к снижению неравномерности напряжений для внутренней зоны заготовки. Для наружного элемента заготовки и внутренней зоны заготовки измене-

ние коэффициента обжима до значения 0,7 ведет вначале к росту неравномерности напряжений на 5...10 %. При дальнейшем росте коэффициента обжима неравномерность напряжений снижается.

На рис. 7 дана графическая зависимость влияния коэффициента утонения на значения

неоднородности напряжений при  $\alpha = 15^\circ$ ;  $k_{об} = 0,65$ ;  $\mu = 0,1$  для выбранных точек.

Увеличение коэффициента утонения приводит к росту неравномерности напряжений для точек 1 и 2 на 30...40 %. Для точки 3 увеличение коэффициента утонения до 0,9 приводит к росту неравномерности напряжений на 50 %. При дальнейшем росте коэффициента утонения неравномерность напряжений снижается на 30 %.

Таким образом, обеспечение калибровки стенки заготовки позволяет добиться заметного уменьшения неравномерности напряжений, а значит обеспечить наилучшее напряжённое состояние.

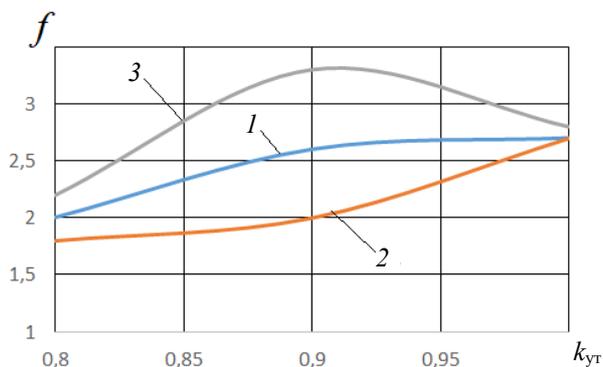


Рис. 7. Зависимость неоднородности напряжений от  $k_{ут}$

### Заключение

Установлено, что наибольшее влияние на напряжённое состояние оболочек оказывают величины коэффициента утонения и коэффициента обжима. Их совокупность при назначении технологических режимов может оказывать критическое влияние на устойчивое протекание процесса. Выявлено, что увеличение коэффициента утонения стенки при коэффициенте обжима  $k_{об} = 0,75 \dots 0,9$  обеспечивает наилучшее напряжённое состояние оболочки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пасынков, А.А., Аккуратнова, А.С. Оценка напряженно-деформированного состояния и возможностей формоизменения тонкостенной трубной заготовки из сплава VT14 при ее раздаче в изотермических условиях // Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. – 2017. – Вып. 9. – С. 286-290.
2. 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.

3. Трегубов, В.И., Ларин, С.Н., Пасынков, А.А., Нuzhdin, Г.А. Оценка влияния геометрии инструмента на силовые параметры совмещенного процесса вытяжки и отбортовки // Заготовительные производства в машиностроении. – 2019. – №4. – С. 165-167.

4. Грязев, М.В., Ларин, С.Н., Черняев, А.В. Предельные возможности формообразования при обжиге трубной заготовки в матрице конической формы // Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. – 2016. – Вып. 7. – С. 3-8.

5. Weiqin Tang, Shiyao Huang, Dayong Li, Yinghong Peng Mechanical anisotropy and deep drawing behaviors of AZ31 magnesium alloy produced by unidirectional and cross rolling // Journal of Materials Processing Technology. – 2015. – Vol. 215. – pp. 320-326.

6. Abea, Y., Ohmia, T., Moria, K., Masuda, T. Improvement of the formability in the deep drawing of ultra-high strength steel sheets by coating of die // Journal of Materials Processing Technology. – 2014. – Vol. 214. – №9. – pp. 1838-1843.

### REFERENCES

1. Pasyнков, A.A., Akkuratnova, A.S. Evaluation of the stressed-deformed state and possibilities of change of shape of a large-gauge of a pipe stock made of VT14 alloy when expanding under isothermal conditions. [Izvestiya TulGU., ser. Technicheskie nauki], 2017, issue 9, pp. 286 -290.
2. 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.
3. Tregubov, V.I., Larin, S.N., Pasyнков, A.A., Nuzhdin, G.A. Evaluation of the influence of tool geometry on the power parameters of the combined lengthening and welding collar. Blank production in mechanical engineering, 2019, No. 4, pp. 165-167.
4. Gryazev, M.V., Larin, S.N., Chernyaev, A.V. Limiting possibilities of forming when breaking-down of a pipe stock in a conical shape matrix. [Izvestiya TulGU., ser. Technicheskie nauki], 2016, issue 7, p. 3-8.
5. Weiqin Tang, Shiyao Huang, Dayong Li, Yinghong Peng Mechanical anisotropy and deep drawing behaviors of AZ31 magnesium alloy produced by unidirectional and cross rolling. Journal of Materials Processing Technology, 2015, Vol. 215, pp. 320-326.
6. Abea, Y., Ohmia, T., Moria, K., Masuda, T. Improvement of the formability in the deep drawing of ultra-high strength steel sheets by coating of die. Journal of Materials Processing Technology, 2014, Vol. 214, No.9, pp. 1838-1843.

Рецензент д.т.н.  
Виктор Иванович Трегубов