



УДК 621.77.04

П.В. Кононов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УГЛОВОЙ РАСКАТКИ КОНУСА НА ТОРЦЕ ТРУБЧАТОЙ ЗАГОТОВКИ

P.V. Kononov

MODELLING PROCESS ANGLE ROLLING CONE AT THE END OF THE TUBULAR BLANK

В статье рассматриваются аспекты исследования с применением метода конечных элементов деформированного состояния трубчатой заготовки в процессе раскатки на ее торце конуса. Цель исследований — разработка рекомендаций по формированию деталей без поверхностных и внутренних трещин.

ТЕХНОЛОГИЯ; ДЕТАЛЬ С КОНУСОМ; ХОЛОДНАЯ КУЗНЕЧНАЯ ОБРАБОТКА; ДЕФОРМАЦИЯ.

In this article aspects of the study was discussed using finite element method strained state of the tubular workpiece in the process rolling on her end of the cone to develop recommendations for the creation of parts without surface and internal fotce.

TECHNOLOGY; DETAIL WITH THE CONE; COLD FORGE PROCESSING; DEFORMATION.

Детали с конусом на торце трубчатой заготовки находят широкое применение в машиностроении. Существующие способы объемного формообразования деталей данного класса (клиновья раскатка, выдавливание, торцовая раскатка и др.) имеют ограниченные технологические возможности. Разработанная технология угловой раскатки конического участка на трубчатой заготовке, о которой пойдет речь, расширяет технологические возможности объемного формообразования, повышает производительность труда и коэффициент использования материала [1–4]. Широкое внедрение этой технологии затруднено из-за недостаточной ее изученности и, в частности, отсутствия теоретических исследований деформированного состояния заготовок в процессе их формообразования.

Постановка задачи исследования

Цель — разработка математической модели раскатки конического участка на трубчатой заготовке, что необходимо для проектирования технологического процесса, обеспечивающего получение деталей без поверхностных и внутренних трещин.

Разработанная схема раскатки показана на рис. 1, а [1]. Трубчатую заготовку 3 размещают на оправке 4, устанавливают в матрицу 2, которую приводят во вращение. Деформирующий ролик 1 устанавливают под углом α к оси приводной матрицы 2 и подводят к заготовке 3. Приводную матрицу 2 с заготовкой 3 приводят во вращение. В процессе раскатывания деформируемая часть заготовки приобретает форму усеченного конуса.

Одним из основных факторов, лимитирующих применение процесса холодной раскатки, является разрушение металла в процессе пластического деформирования. В качестве примера на рис. 2 представлена деталь, раскатанная по схеме рис. 1, а. Трещины в области 1 на основании конуса образовывались в результате исчерпания ресурса пластичности в процессе раскатки материала заготовки из латуни Л63.

Математическая модель процесса раскатки конуса

Прогнозирование допустимых размеров деталей, изготавливаемых раскаткой, осуществляли с использованием программного комплекса DEFORM 3D [5]. Схема задания граничных

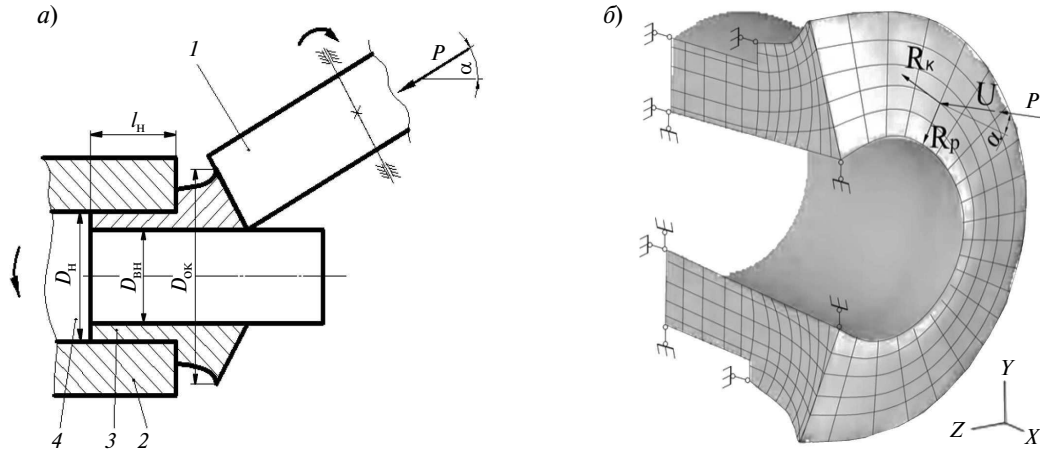


Рис. 1. Кинематическая схема процесса раскатки конуса (а) и схема задания граничных условий (б)

условий и геометрия заготовки представлены на рис. 1, где внутренний диаметр равен $D_{вн} = 25$ мм, диаметр и длина посадочного участка соответственно равны $D_n = 35$ мм и $l_n = 25$ мм. Диаметр основания конуса — $D_{ок} = 64$ мм. Заготовка имела на раскатываемом участке наружный диаметр $D_{заг} = 45$ мм и высоту $l_{заг} = 20$ мм (на рис. 1 не показаны).

Задача пластического течения — физически нелинейная, реализуется с помощью итерационного процесса. При этом неопределенный множитель Лагранжа, имеющий физический смысл коэффициента вязкости, подбирается так, чтобы удовлетворять условиям пластичности. Разрешающая система уравнений представляет собой систему линейных алгебраических

уравнений, три из которых имеют смысл уравнений равновесия в узловой точке, а четвертое является условием постоянства объема [6, 7].

Критерий разрушения в программном комплексе DEFORM 3D — критерий Cockcroft, рассчитываемый по формуле [5]

$$D = \int_0^{\bar{\epsilon}} \frac{\sigma^*}{\sigma_i} d\bar{\epsilon}, \quad (1)$$

где $\bar{\epsilon}$ — накопленная пластическая деформация; $d\bar{\epsilon}$ — приращения накопленной деформации; σ^* — максимальное главное растягивающее напряжение.

Данный критерий не учитывает, что предельные степени деформации сдвига зависят от показателя напряженного состояния K , где $K = \frac{\sigma_0}{T_i}$, σ_0 — гидростатическое напряжение, $\sigma_0 = (\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz})/3$; T_i — интенсивность касательных напряжений, $T_i = \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}}$.

Возрастание пластичности материала при увеличении в схеме напряженного состояния сжимающих напряжений установлено в работах В.Л. Колмогорова [8], А.А. Богатова [9], В.А. Огородникова [10], Г.Д. Деля [11] и др.

Экспериментальное построение кривой предельного состояния (кривая 4 на рис. 3), соответствующей различным схемам нагружения, выполняли с использованием стандартного испытательного оборудования. Реализованы следующие схемы нагружения: одноосное растяжение; сдвиг; одноосное сжатие; сжатие в закрытой

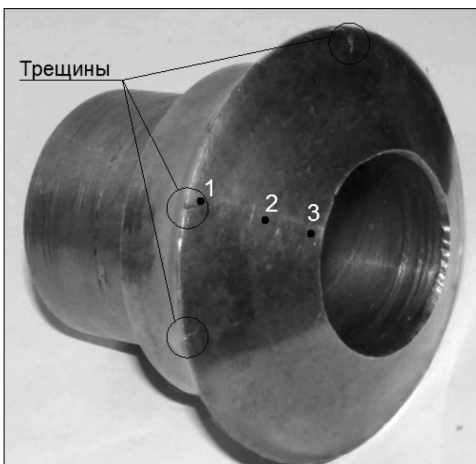


Рис. 2. Раскатанная деталь с трещинами на основании конуса

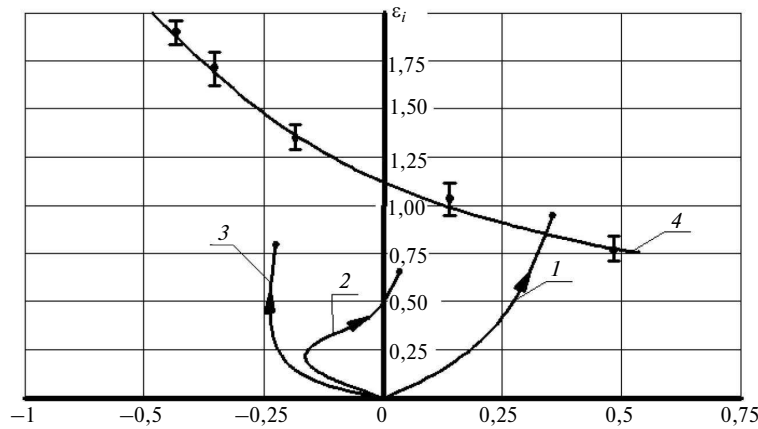


Рис. 3. Диаграмма пластичности латуни Л63 и пути деформирования частиц материала в исследуемых областях при формировании раскатанного конуса

матрице; гидростатическое сжатие. Для реализации эффекта гидростатического сжатия образец помещали в сосуд с жидкостью, который сжимался поршнем через систему усилителей давления. Диаграмма пластичности в координатах $(K - \epsilon_i)$ для исследуемого материала из латуни Л63 представлена на рис. 3.

Конечно-элементная реализация расчета процесса ротационного формообразования деталей с конусом

Пути деформирования характерных областей раскатанной детали вычислены с использованием программного комплекса DEFORM 3D [5]. На рис. 4. показан пример расчета деформированного состояния заготовки из латуни Л63 с размерами, соответствующими детали на рис. 2, на конечной стадии формообразования конуса.

Пути деформирования характерных областей раскатанной детали обозначены на рис. 3 номерами 1, 2, 3. Области 1 и 3 деформируются монотонно, а область 2 — немонотонно. Область 1 с интенсивностью логарифмической деформации $\epsilon_i = 0,92$ при $K = 0,32$ превысила допустимый предел $\epsilon_i = 0,86$, что привело к образованию трещин. Допустимый предел $\epsilon_i = 0,86$ определен по кривой 4 предельного состояния. Интенсивность деформации $\epsilon_i = 0,86$ соответствует диаметру основания конуса равного $D_{oc} = 59$ мм.

Таким образом, анализ графиков рис. 3 показал, что для получения бездефектных деталей

рассматриваемого класса диаметр основания раскатываемого конуса не должен превышать $D_{oc} = 59$ мм.

Расчеты с использованием программного комплекса DEFORM 3D позволили определить деформированные состояния заготовки в процессе холодной раскатки конуса и установить пути деформирования наиболее характерных участков.

С применением стандартного испытательного оборудования построена экспериментальная кривая предельного состояния латуни Л63, соответствующая различным схемам нагружения.

Представлен пример расчета диаметра основания конуса из латуни Л63, предельно допусти-

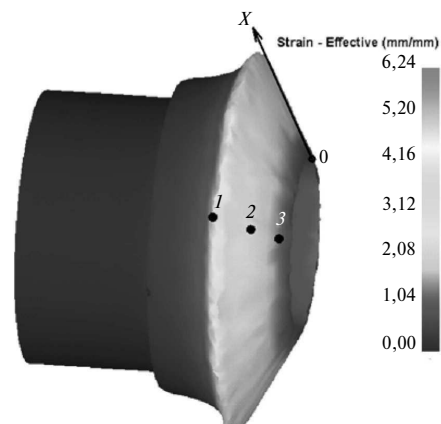


Рис. 4. Распределение интенсивности накопленной деформации по поверхности раскатанной детали

мого по условию получения бездефектных деталей. Установлено: для исследуемого класса деталей из латуни Л63 трещины в основании раскатанного конуса образуются при интенсивности деформации ϵ_i более 0,86, что соответ-

ствует диаметру основания формообразованного конуса $D_{oc} = 59$ мм.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14–08–31655 мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент на способ **RUS 2 499 648. 25.06.2012.** Способ раскатки фланцев трубчатых заготовок / Востров В.Н., Кононов П.В. Зарег. в госреестре 25.05.2012.
2. Патент на полезную модель **RUS 116079. 07.12.2011.** Устройство для раскатки буртов на трубчатых заготовках / Востров В.Н., Кононов П.В. Зарег. в госреестре 27.11.2013.
3. **Востров В.Н., Яблокова Н.А., Кононов П.В.** Исследование остаточных напряжений в раскатанных деталях методом дифракции рентгеновских лучей // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2013. № 1(166). С. 223–230.
4. **Востров В.Н., Яблокова Н.А., Кононов П.В.** Исследование методом дифракции рентгеновских лучей остаточных напряжений в деталях с раскатанным фланцем из сплава Л63 // Научно-производственный журнал «Металлообработка». 2012. № 4(70). СПб.: Изд-во «Политехника». С. 38–42.
5. DEFORM 3D. Version 6.1. *User's, Manual.* 2007. 1328 p.
6. **Рыбин Ю.И., Рудской А.И., Золотов А.М.** Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением. СПб: Наука, 2004. 644 с.
7. **Кононов П.В., Востров В.Н.** Конечно-элементное моделирование процесса раскатки фланца на трубчатой заготовке // Молодой ученый. 2013. № 9. С. 46–49.
8. **Колмогоров В.Л.** Механика обработки металлов давлением / Екатеринбург: Изд-во Уральского ГТУ, 2001. — 816 с.
9. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. [и др.]. Ресурс пластичности при обработке давлением М.: Металлургия, 1984. 144 с.
10. **Огородников В.А.** Ресурс пластичности при обработке давлением. Киев: Вища школа, 1983. 174 с.
11. **Дель Г.Д.** Пластичность деформированного металла // Физика и техника высоких давлений. 1983. № 11. С. 28–32.

REFERENCES

1. **Utility patent RUS 2 499 648. 25.06.2012.** Way rolling flanges tubular blanks / Vostrov V.N., Kononov P.V. Zaregistrovano v gosreestre 25.05.2012. (rus.)
2. **Utility patent RUS 116079. 07.12.2011.** Way rolling flanges tubular blanks / Vostrov V.N., Kononov P.V. Zaregistrovano v gosreestre 27.11.2013. (rus.)
3. **Vostrov V.N., Yablokova N.A., Kononov P.V.** Study of residual stresses in the roll out details of the X-ray diffraction. *Scientific and technical sheets SPbPU.* 2013. № 1(166). P. 223–230. (rus.)
4. **Vostrov V.N., Yablokova N.A., Kononov P.V.** Study of residual stresses X-ray diffraction method in detail with the roll out of an alloy flange L63. *Scientific and Production magazine «Metalobrabotka».* 2012. № 4 (70). P. 38–42. «Publishing «Politehnica»». (rus.)
5. DEFORM 3D Version 6.1. *User's, Manual.* 2007. 1328 p.
6. **Rybin Y.I., Rudskoy A.I., Zolotov A.M.** [Mathematical modeling and design technology of metal forming processes]. St. Petersburg: Nauka, 2004. 644 p. (rus.)
7. **Kononov P.V., Vostrov V.N.** [Finite element modeling of the process rolling flange on the tubular billet]. *Young scientist.* 2013. № 9. P. 46–49. (rus.)
8. **Kolmogorov V.L.** Mechanics Metal Forming. Yekaterinburg: Publishing Ural GTU, 2001. 816 p. (rus.)
9. **Bogatov A.A., Mizhiritsky O.I., Smirnov S.V.** [and others]. Plasticity resource pressure treatment Moscow: Metallurgy, 1984. — 144 p. (rus.)
10. **Ogorodnikov V.A.** Plasticity resource pressure treatment. Kiev: High school, 1983. 174 p. (rus.)
11. **Del G.D.** Plasticity deformed metal. *Physics and technology of high pressure.* 1983. № 11. С. 28–32. (rus.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

КОНОНОВ Павел Васильевич — аспирант кафедры машин и технологий обработки металлов давлением Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29; e-mail: kpv710@Rambler.ru

KONONOV Pavel V. — St. Petersburg State Polytechnical University, 29 Politekhnikeskaya S., St. Petersburg, 195251, Russia; e-mail: kpv710@Rambler.ru