

## К РАСЧЕТУ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ ПО ЛИНИЯМ ТОКА \*

**Александров А.А.<sup>1</sup>**, д.т.н., профессор кафедры  
«Строительные конструкции» (omsk-aaa@rambler.ru)  
**Евстифеев В.В.<sup>1</sup>**, д.т.н., профессор кафедры «Автомобили,  
конструкционные материалы и технологии»  
**Ковальчук А.И.<sup>2</sup>**, инженер-конструктор

<sup>1</sup> Сибирская автомобильно-дорожная академия  
(644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 5)  
<sup>2</sup> ОАО «Конструкторское бюро транспортного машиностроения»  
(644020, Россия, г. Омск, Красный пер., 2)

**Аннотация.** Представлены формулы, упрощающие аналитический расчет процессов осесимметричной пластической деформации по линиям тока. Описана геометрическая особенность результатов оптимизационного решения задачи о выдавливании цилиндрической заготовки в конической матрице.

**Ключевые слова:** процесс деформации, линии тока, аналитический расчет.

На примере расчета процесса осесимметричной пластической деформации с применением разбивки заготовки на треугольные блоки с параллельными линиями тока [1] покажем один из приемов упрощения формул для вычисления скорости сдвиговой деформации  $\eta_{rz}$  и интенсивности скоростей деформации сдвига  $H$ , способствующий преодолению математических трудностей, которые могут возникнуть при решении такого типа задач [2].

Используем приведенные в работе [1] уравнения общего вида для радиальной и осевой составляющих скорости течения металла в  $i$ -м треугольном блоке, которые записываются следующим образом:

$$(V_r)_i = -(C_1)_i \left[ (C_2)_i + \frac{z-z_i}{r} \right] \operatorname{tg} \lambda_i,$$

$$(V_z)_i = (C_1)_i \left[ (C_2)_i + \frac{z-z_i}{r} \right],$$

где  $(C_1)_i$  и  $(C_2)_i$  – скоростной и безразмерный коэффициенты;  $r, z$  – координаты;  $z_i$  – расстояние от начала координат до вершины треугольника на оси  $z$ ;  $\lambda_i$  – угол между осью  $z$  и направлением скорости движения частиц металла в  $i$ -м блоке.

Определим радиальную, осевую и окружную скорости деформации:

$$(\xi_r)_i = (C_1)_i \frac{z-z_i}{r^2} \operatorname{tg} \lambda_i; \quad (\xi_z)_i = \frac{(C_1)_i}{r};$$

$$(\xi_\theta)_i = -\frac{(C_1)_i}{r} \left[ (C_2)_i + \frac{(z-z_i)}{r} \right] \operatorname{tg} \lambda_i,$$

по которым, учитывая условие несжимаемости материала  $(\xi_r + \xi_z + \xi_\theta = 0)$ , найдем, что  $(C_2)_i = \operatorname{ctg} \lambda_i$ .

Запишем сдвиговую скорость деформации

$$(\eta_{rz})_i = \frac{\partial V_r}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial r} = \frac{-(C_1)_i}{r} \operatorname{tg} \lambda_i - (C_1)_i \frac{z-z_i}{r^2}.$$

Сравнивая правые части последнего выражение и уравнений радиальной и осевой скоростей деформации, можно видеть, что скорость сдвиговой деформации определяется следующим образом:

$$(\eta_{rz})_i = -(\xi_r \operatorname{ctg} \lambda_i + \xi_z \operatorname{tg} \lambda_i).$$

В этом случае известная формула для вычисления интенсивности скоростей деформации сдвига записывается так:

$$H_i = \sqrt{4(\xi_r^2 + \xi_r \xi_z + \xi_z^2) + (\xi_r \operatorname{ctg} \lambda_i + \xi_z \operatorname{tg} \lambda_i)^2}.$$

Применение формул такого вида дало возможность точно определить величину мощности на пластическую деформацию в треугольном блоке [3] и построить достаточно компактную аналитическую математическую модель процесса прямого выдавливания цилиндрической заготовки в конической матрице. Представленные уравнения позволили выявить, не отмечавшуюся ранее, геометрическую особенность оптимизационных результатов, полученных по условию минимума этой мощности, а, именно, что верши-

\* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания вузам РФ в сфере научной деятельности.

на треугольника, расположенная на оси симметрии, занимает положение, при котором очаг деформации становится равнобедренным, т.е. имеет равные длины границ с жесткими зонами.

**Выводы.** Приемы выражения скорости сдвиговой деформации через радиальную, осевую или окружную скорости деформации в расчетах процессов с четырехугольными в плане коническими блоками аналогичны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теорияковки и штамповки: 2-е изд., перераб. и доп. / Е.П. Унксов, У. Джонсон, В.Л. Колмогоров и др. – М.: Машиностроение, 1992. – 720 с.
2. Алюшин Ю.А. Расчет процессов пластического формоизменения по линиям тока. – Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1979. – 81 с.
3. Ковальчук А.И., Александров А.А., Евстифеев В.В. К расчету силы прямого выдавливания в конической матрице по линиям тока // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 12. С. 52.

Поступила 28 октября 2014 г.

---

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA – FERROUS METALLURGY. 2015. Vol. 58. No. 4, pp. 282–283.

---

## THE CALCULATION OF DEFORMATION PROCESSES ALONG THE STREAMLINES

*Aleksandrov A.A.*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair of Building Constructions (omsk-aaa@rambler.ru)

*Evstifeev V.V.*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair “Motor Vehicles, Construction Materials and Technologies”

*Koval’chuk A.I.*<sup>2</sup>, Design Engineer

<sup>1</sup> Siberian Automobile and Highway Academy (5, Mira ave., Omsk, 644050, Russia)

<sup>2</sup> JSC “Design Bureau of Transport Machinery” (2, Krasnyi lane, Omsk, 644020, Russia)

**Abstract.** The paper presents formulas to simplify the analytical calculation of axial-symmetric plastic deformation processes along the streamlines and describes geometric singularity of the optimization solution results of the problem on extrusion of a cylindrical workpiece in a conical matrix.

**Keywords:** deformation process, streamlines, analytical calculation.

## REFERENCES

1. Unksov E.P., Johnson W., Kolmogorov V.L. etc. *Teoriya kovki i shtampovki* [Forging and forming theory]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1992. 720 p. (In Russ.).
2. Alyushin Yu.A. *Raschet protsessov plasticheskogo formoizmeneniya po liniyam toka* [The calculation of plastic deformation processes along the streamlines]. Rostov-on-Don: RISKhM, 1979. 81 p. (In Russ.).
3. Koval’chuk A.I., Aleksandrov A.A., Evstifeev V.V. Calculation of the strength of a direct extrusion in a conical matrix along the streamlines. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya – Ferrous Metallurgy*. 2011, no. 12, pp. 52. (In Russ.).

**Acknowledgements.** This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of State order to the universities of the Russian Federation in the field of scientific activity.

Received October 28, 2014