

Б.В. Кучеряев¹, П.Ю. Соколов¹, Н.А. Ночовная², В.В. Кучеряев²

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,

² Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАСКАТКИ ДИСКОВ

Одним из способов получения дисков различной конфигурации является раскатка из сплошных круглых заготовок [1] (рис. 1), принципиальная схема одного из которых показана на рис. 2.

В рассматриваемом способе раскатки ролики сначала внедряются в круглую заготовку, а затем протягиваются к ее периферии, осуществляя процесс раскатки. При этом, для построения математической модели этой стадии, необходимо рассмотреть два процесса. Первый – прокатка в коническом валке в условиях трехмерной деформации (рис. 3), второй – перемещение валка в направлении оси E_1 (рис. 4).

В первом приближении в расчетной схеме (см. рис. 3), использованной для построения кинематически возможного (КВ) поля скоростей прокатки, для упрощения расчетов не учитывается малый угол раскатки, а уширение считается пренебрежимо малым вследствие малого обжатия и конусности валка. Кроме того, перемещение валка может вызывать незначительную деформацию осадки металла, которой также пренебрегаем. Таким образом, для построения упрощенной математической модели достаточно рассмотреть прокатку в коническом валке.

Построение поля скоростей в плоскости E_1E_3 (см. рис. 4) выполним так же, как это было сделано для листовой прокатки в цилиндрических валках в работе [2], где, как и в модели А.И. Целикова [3], дуга захвата аппроксимирована хордой.

Из условия постоянства потока [4] плоского движения среды в зоне II

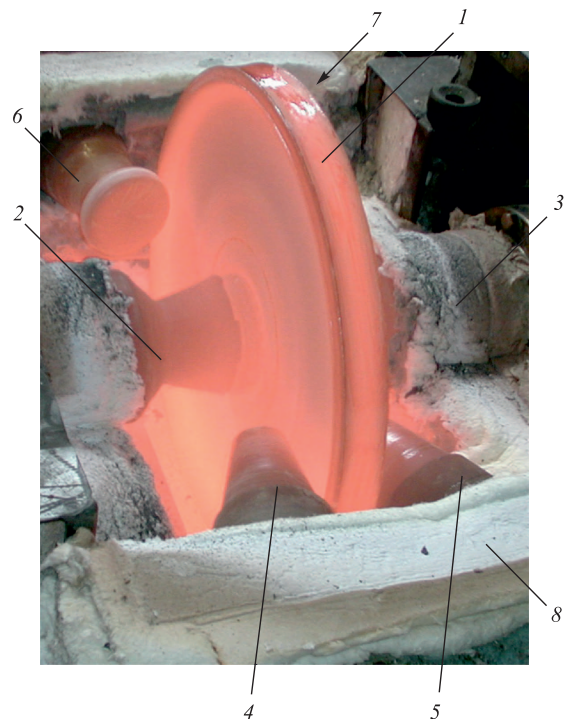


Рис. 1. Раскатка диска на стане СРД-800:
1 – раскатываемый диск; 2, 3 – пиноли; 4 – 7 – наклонные ролики;
8 – камера печи

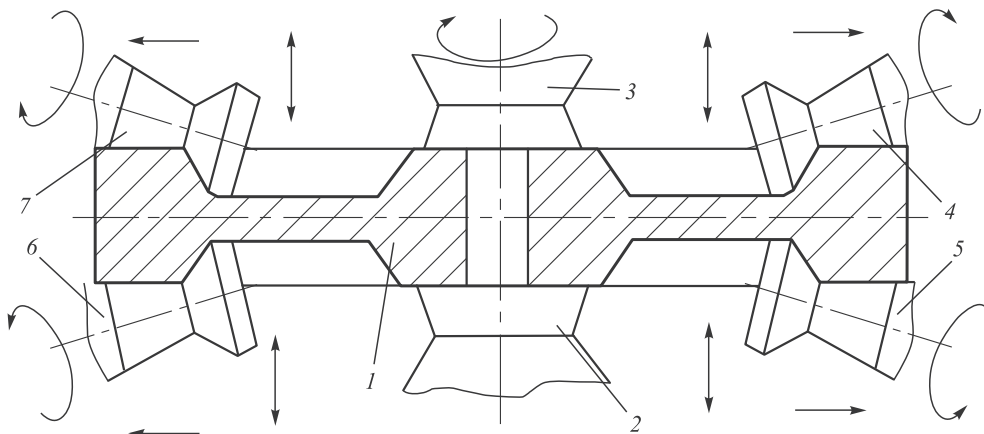


Рис. 2. Схема раскатки дисков:
1 – раскатываемый диск; 2, 3 – пиноли; 4 – 7 – наклонные ролики

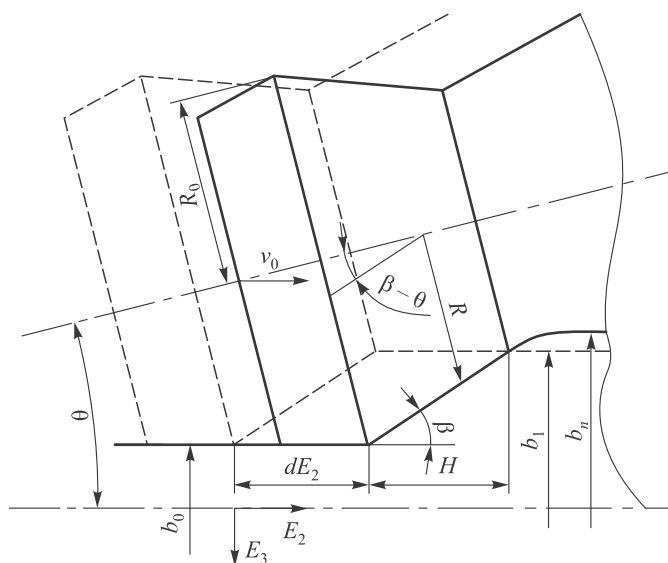


Рис. 3. Схема раскатки в плоскости E_2E_3

$$v_1 = v_0 \frac{h_0}{h}, \quad (1)$$

где при замене дуги захвата хордой с текущей высотой проката, связанной с углом захвата α формулой

$$h = h_1 - 2E_1 \tan \frac{\alpha}{2}, \quad (2)$$

где

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{\Delta h}{2l_d}, \quad (3)$$

проекция дуги захвата на горизонтальную ось E_1

$$l_d = \sqrt{R\Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}};$$

текущий радиус конического вала

$$R = R_0 - \frac{E_2 \tan(\beta - \varphi)}{\cos \beta}. \quad (4)$$

Условие несжимаемости ($\nabla \cdot \vec{v} = 0$) в плоскости E_1E_3 обращается в тождество, если компоненты плоского поля скоростей \vec{v} записать через функцию тока ψ :

$$v_3 = \frac{\partial \psi}{\partial E_1}; \quad v_1 = -\frac{\partial \psi}{\partial E_3}.$$

Тогда с учетом (1) получим значение функции тока плоскости E_1E_3 :

$$\psi = -v_0 \frac{h_0 E_3}{h}, \quad (5)$$

где v_0 – начальная скорость прокатки, которая зависит от угловой скорости ω вращающейся заготовки и текущего радиуса (4):

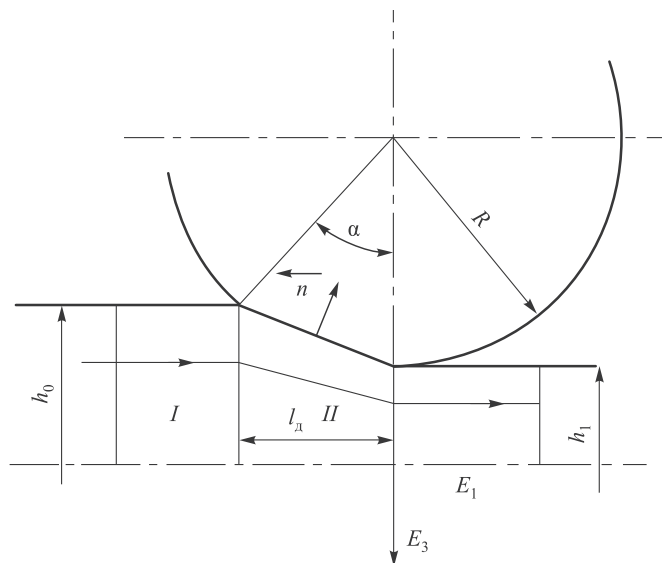


Рис. 4. Расчетная схема прокатки в плоскости E_1E_3

$$v_0 = \omega R. \quad (6)$$

После дифференцирования (5) по E_1 с учетом (1) и (2) находим третью компоненту вектора скорости плоскости E_1E_3 :

$$v_3 = -v_0 \frac{2h_0 E_3}{h^2} \tan \frac{\alpha}{2}. \quad (7)$$

Поле скоростей с компонентами (1), (7) по формуле Дж. Стокса [4]

$$\xi_{ik} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial E_k} + \frac{\partial v_k}{\partial E_i} \right)$$

позволяет определить компоненты тензора скоростей деформаций в плоскости E_1E_3 :

$$\begin{aligned} \xi_{11} = -\xi_{33} &= \frac{\partial v_1}{\partial E_1} = 2v_0 \frac{h_0}{h^2} \tan \frac{\alpha}{2}; \\ \xi_{13} = \xi_{31} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_1}{\partial E_3} + \frac{\partial v_3}{\partial E_1} \right) = 4v_0 \frac{h_0 E_3}{h^3} \tan^2 \frac{\alpha}{2}; \\ \xi_{12} = \xi_{21} &= \frac{1}{2} \frac{\partial v_1}{\partial E_{2d}} = 2v_0 \frac{h_0 E_1 \Delta h^2}{h^2 l^3} \frac{\tan(\beta - \varphi)}{\cos \beta}; \\ \xi_{32} = \xi_{23} &= \frac{1}{2} \frac{\partial v_2}{\partial E_{3d}} = 2v_0 \frac{h_0 E_1 \Delta h^2}{h^2 l^3} \frac{\tan(\beta - \varphi)}{\cos \beta} \left(4 \frac{E_1}{h} \tan \frac{\alpha}{2} + 1 \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Отметим, что благодаря (6), плоское поле скоростей (1), (7) приводит к трехмерному тензору скоростей деформаций

$$T_\xi = \begin{bmatrix} \xi_{11} & \xi_{12} & \xi_{13} \\ \xi_{21} & 0 & \xi_{23} \\ \xi_{31} & \xi_{32} & \xi_{33} \end{bmatrix},$$

что принципиально отличает новую модель от модели работы [2].

Далее находим интенсивность сдвиговых скоростей деформаций для несжимаемых сред [4]:

$$N = 2\sqrt{\xi_{11}^2 + \xi_{12}^2 + \xi_{23}^2 + \xi_{13}^2}. \quad (9)$$

Интенсивность сдвиговых скоростей деформаций для идеальной жесткопластичной среды $T = t_r = \text{const}$ [4] позволяет оценить деформационный разогрев металла [4, 5]. Температура деформационного разогрева

$$\theta = \theta_0 + \frac{\Lambda \tau_r}{c\rho J_m}, \quad (10)$$

где θ_0 – начальная температура металла; c – удельная теплоемкость; ρ – плотность; J_m – механический эквивалент тепла; Λ – степень деформации сдвига [6]:

$$\Lambda = \int_t H dt = 2 \ln \left(\operatorname{tg} \frac{\pi h_0}{4H} \operatorname{ctg} \frac{\pi h_1}{4H} \right); \quad (11)$$

H – масштабный фактор, определяемый геометрическими параметрами прокатки:

$$R = \frac{Hc_2}{\pi c_1} \sin^2 \frac{\pi r}{2H} \left(1 + \frac{c_2^2}{c_1^2} \operatorname{ctg}^2 \frac{\pi r}{2H} \right)^{\frac{3}{2}}; \quad (12)$$

$$r = \frac{h_0 h_1}{h_0 + h_1}; \quad c_1 = \frac{\lambda - 1}{2}; \quad c_2 = \frac{\lambda + 1}{2}; \quad \lambda = \frac{h_0}{h_1}.$$

УДК 621.771

Л.С. Кохан, А.В. Алдунин

Московский государственный открытый университет им. В.С. Черномырдина

МИНИМИЗАЦИЯ УШИРЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ ТОНКОПОЛОСОВОГО МЕТАЛЛА

При прокатке тонких полос из различных сплавов уширение сопровождается значительными напряжениями растяжения на их боковых кромках [1]. Излишнее уширение приводит к появлению трещин в кромках и даже обрыву прокатываемых полос. Для узких полос, предназначенных для изготовления шинопроводов и гнутых профилей, потери металла при обрезке дефектных кромок достигают 5 – 10 %.

На сегодня имеются отдельные представления о зависимости уширения прокатываемых полос от относительного обжатия ε и отношения начальной ширины b_0 к длине дуги деформации l [2], отношения b_0 к начальной критической ширине $b_{0к}$, а также от величины заднего натяжения [1, 3].

Из теоретических исследований также известно, что суммарное уширение в геометрическом очаге деформации определяется соотношением протяженности зон отставания $l_{от}$ и опережения $l_{оп}$ (рис. 1). Обычно при

Полученную новую математическую модель можно использовать для оценки условий раскатки, соответствующих сверхпластическому состоянию деформируемого металла так, как это было сделано для процесса листовой прокатки в работе [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кайбышев О.А., Утяшев Ф.З. Сверхпластичность, измельчение микроструктуры и обработка труднодеформируемых сплавов. – М.: Наука, 2002. – 438 с.
2. Кучеряев Б.В., Зиновьев А.В., Крахт В.Б. и др. // Производство проката 2001. № 7. С. 6 – 9.
3. Целиков А.И. // Металлургия. 1939. № 6. С. 61 – 76.
4. Кучеряев Б.В. Механика сплошных сред. Теоретические основы обработки давлением композитных металлов с задачами и решениями, примерами и упражнениями: Учеб. для вузов. – М.: МИСИС, 2006. – 604 с.
5. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 600с.
6. Кучеряев Б.В., Потапов И.Н. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1974. № 4. С. 78 – 81.
7. Кучеряев Б.В., Смирнов О.М., Тинигин Н.И. Математическое моделирование процесса прокатки сплава ЖС6-КП в состоянии сверхпластичности. Сб. «Теория и технология обработки металлов давлением» № 102. – М.: Металлургия, 1977. С. 44 – 48.

© 2012 г. Б.В. Кучеряев, П.Ю. Соколов,
Н.А. Ночовная, В.В. Кучеряев
Поступила 10 февраля 2012 г.

симметричном режиме натяжения величина уширения в зоне отставания больше, чем в зоне опережения [4].

Существенное влияние на деформационные и силовые параметры в очаге деформации при прокатке полос данного размерного сортамента оказывает положение нейтрального сечения, зависящее, прежде всего, от относительного обжатия, радиуса рабочих валков, коэффициента контактного трения, режима натяжения и коэффициента упрочнения обрабатываемого металла.

В данной работе в процессе теоретических исследований определяли коэффициент нейтрального сечения очага деформации [5]:

$$Z = \frac{h_0}{h_n} = \left[\frac{\sqrt{k^2 + \frac{(\xi_0 \cdot \delta - k)(\xi_1 \cdot \delta + k)}{(1 - \varepsilon)^\delta}} - k}{\delta \cdot \xi_0 - k} \right]^{1/8}, \quad (1)$$