

Г.Л. ПЕТРОСЯН, Г.Г. ХАЧАТРЯН, А.Г. ПЕТРОСЯН

МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОЦЕССА РАСКАТКИ КОЛЬЦА ПО ДАННЫМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ

Решается задача процесса раскатки кольца с использованием дифференциальных уравнений равновесия элемента, условия пластичности Треска – Сен-Венана, компьютерных данных геометрических параметров процесса раскатки кольца и граничных условий. В случае численного вычисления компонентов напряженного состояния кольца зона его деформирования разделена на десять равномерных элементов. Дан анализ результатов расчета безразмерных величин окружных напряжений и контактных нормальных давлений.

Ключевые слова: компоненты напряженного состояния, компьютерные геометрические параметры, граничные условия.

Введение. Вопросам определения компонентов напряженно-деформированного состояния процессов раскатки кольца посвящено много исследований и, в частности, [1-3].

В [1] аналитическим методом исследовано деформированное состояние процесса раскатки кольца большого диаметра, в результате чего было выявлено, что основные геометрические параметры процесса раскатки взаимосвязаны. Полученные формулы позволили по некоторым начальным параметрам определить другие.

В [2] выявлены особенности определения текущих взаимосвязанных геометрических параметров процесса раскатки кольца большого диаметра, на основе которых исследовано напряженное состояние кольца. Получена система уравнений для определения напряжений в деформированной зоне кольца. Показано, что в случае увеличения диаметра кольца путем изменения текущих геометрических параметров эти уравнения преобразуются в уравнения прокатки плоской полосы.

В [3] компоненты напряженного состояния процесса раскатки кольца прямоугольного поперечного сечения определены с использованием аналитических зависимостей текущих геометрических параметров кольца. Для выполнения численных расчетов зона деформирования кольца разделена на десять равномерных элементов. Дан анализ результатов расчета безразмерных величин окружных напряжений и контактных нормальных давлений.

Отметим, что процесс раскатки кольца с использованием аналитических зависимостей текущих геометрических параметров является достаточно сложным, что обусловлено его многопараметричностью.

Исходя из вышеизложенного, особую актуальность представляют работы, упрощающие вычисления компонентов напряженного состояния процесса раскатки кольца.

Целью настоящей работы является вычисление компонентов напряженного состояния процесса раскатки кольца большого диаметра прямоугольного поперечного сечения с использованием данных текущих компьютерных геометрических параметров.

Методы исследования. Для решения поставленной задачи в случае разделения зоны деформирования кольца на определенное количество конечных элементов используем основные формулы численных расчетов [3], написанных в безразмерных величинах окружного напряжения, его приращения и наружного контактного давления:

$$\bar{\sigma}_\theta = \sigma_\theta / \sigma_T, \quad \overline{\Delta\sigma}_\theta = \Delta\sigma_\theta / \sigma_T, \quad \bar{p}_1 = p_1 / \sigma_T.$$

Формула для определения приращения окружного напряжения в его различных сечениях является первым уравнением равновесия элемента (рис. 1):

$$\overline{\Delta\sigma}_\theta = -\bar{\sigma}_\theta \frac{\Delta h_c}{h_c} + \frac{\bar{p}_1 \Delta h_{1c}}{h_c} (1 \mp 2f / \operatorname{tg} \varphi_{1c} + \operatorname{tg} \varphi_{2c} / \operatorname{tg} \varphi_{1c}). \quad (1)$$

Формула, связывающая внутреннее контактное давление кольца с наружным, является вторым уравнением равновесия элемента:

$$\bar{p}_2 = \bar{p}_1 \frac{\Delta h_{1c}}{\Delta h_{2c}} \frac{\operatorname{tg} \varphi_{2c}}{\operatorname{tg} \varphi_{1c}}. \quad (2)$$

Условие пластичности Треска–Сен-Венана:

$$\bar{p}_1 = 1 - \bar{\sigma}_\theta. \quad (3)$$

В формулах (1)-(3) $\bar{\sigma}_\theta$ – окружное напряжение; h_c – текущее значение толщины кольца; Δh_c и Δh_{1c} , Δh_{2c} – ее приращение и составляющие; f – коэффициент трения; φ_{1c} и φ_{2c} – текущие контактные углы соответствующих валков; σ_T – предел текучести материала кольца.

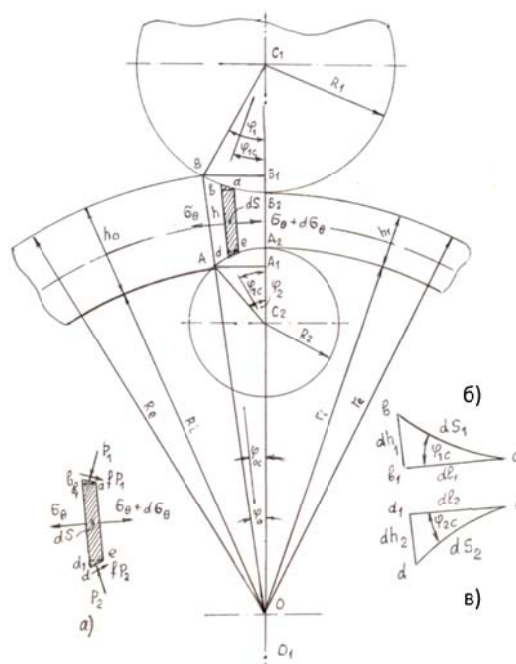


Рис. 1. Схема раскатки кольца: а, б, в - части, отделенные двумя поперечными сечениями, и элементы соответствующих его концов

Компьютерные взаимосвязанные данные геометрических параметров раскатки кольца (рис. 1) определены для двух случаев начальных геометрических технологических параметров [1]: постоянных для обоих случаев - $h_0 = 7 \text{ мм}$; $h_1 = 3 \text{ мм}$; $R_1 = 200 \text{ мм}$ и отличающихся друг от друга: 1) $R_e = 400 \text{ мм}$; $R_2 = 74,5 \text{ мм}$; $\varphi_0 = 3^\circ$; $\varphi_1 = 6^\circ$; $\varphi_2 = 16^\circ$; 2) $R_e = 1000 \text{ мм}$; $R_2 = 116,5 \text{ мм}$; $\varphi_0 = 1,4^\circ$; $\varphi_1 = 7^\circ$; $\varphi_2 = 12^\circ$.

Данные компьютерного моделирования в среде “Solidworks” (рис. 2) соответственно приведены в табл. 1 и 2.

Для выполнения численных расчетов в первом случае зона деформирования кольца разделена на десять равномерных элементов с центральными углами $0,3^\circ$, а во втором случае используются пять элементов с центральными углами $0,28^\circ$.

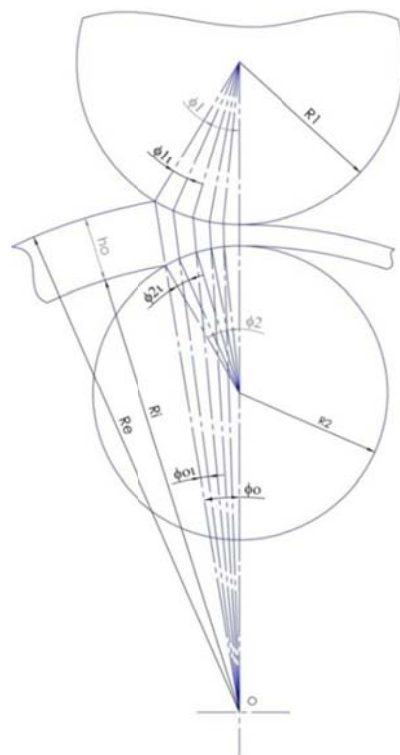


Рис. 2. Компьютерная схема раскатки кольца

Таблица 1

Компьютерные данные геометрических параметров раскатки кольца при $\varphi_0 = 3^\circ$,
 $R_e = 400$ мм, $R_2 = 74,5$ мм

Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta\varphi_{0i}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
$\Delta\varphi_{1i}$	0,598	0,605	0,603	0,602	0,601	0,599	0,599	0,598	0,598	0,598
$\Delta\varphi_{2i}$	1,603	1,619	1,614	1,609	1,606	1,602	1,599	1,598	1,597	1,596
R_{ei} , мм	399,7	399,4	399,2	398,9	398,8	398,6	398,5	398,4	398,4	398,4
R_{ii} , мм	393,5	393,9	394,2	394,5	394,8	395,0	395,2	395,3	395,3	395,4

Таблица 2

Компьютерные и расчетные данные геометрических параметров раскатки кольца
при $\varphi_0 = 1,4^0$, $R_e = 1000$ мм, $R_2 = 116,5$ мм

Параметры	1	2	3	4	5
$\Delta\varphi_{0i}$	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
$\Delta\varphi_{1i}$	1,395	1,406	1,402	1,399	1,398
$\Delta\varphi_{2i}$	2,359	2,377	2,368	2,363	2,360
R_{ei} , мм	999,359	998,856	998,498	998,284	998,212
R_{ii} , мм	993,793	994,416	994,859	995,124	995,212
Δh_{1c} мм	0,641	0,503	0,358	0,214	0,072
Δh_{2c} мм	0,793	0,623	0,443	0,265	0,088
Δh_c мм	1,434	1,126	0,801	0,479	0,160
$\tilde{h}_c$ мм	5,526	4,400	3,599	3,120	2,960
$\Delta h_{1c}/\Delta h_{2c}$	0,808	0,807	0,808	0,808	0,818

Численные данные компонентов напряженного состояния кольца определяются только для первого случая при коэффициенте трения $f = 0,2$. Принимается также, что приращения других углов также разделены равномерно с шагами $0,6^0$ и $1,6^0$ (табл. 3).

В формуле приращения окружного напряжения (1) для зоны отставания в скобках используется знак "минус" (-), а для зоны опережения – знак "плюс" (+).

Численное интегрирование основной формулы (1) выполняется с использованием следующего граничного условия: при входе и выходе из зоны деформирования кольца окружное напряжение отсутствует $\overline{\sigma_{\theta 0}} = 0$. Это позволяет по формуле (1) определить приращение окружного напряжения $\overline{\Delta\sigma_{\theta 1}}$ в конце первого элемента. При этом величина окружного напряжения в данном сечении кольца будет найдена по следующей зависимости $\overline{\sigma_{\theta 1}} = \overline{\sigma_{\theta 0}} + \overline{\Delta\sigma_{\theta 1}}$. Отметим, что для других элементов можно использовать следующую формулу: $\overline{\sigma_{\theta l}} = \overline{\sigma_{\theta(l-1)}} + \overline{\Delta\sigma_{\theta l}}$.

Результаты расчетов, приведенные в табл. 3, показывают, что в данном случае при выходе из зоны деформирования кольца граничное условие удовлетворяется приближенно - в конце десятого элемента остаются безразмерные сжимающие напряжения величиной 0,214. Это объясняется максимальными безразмерными величинами окружного напряжения (1,056) и его приращением (0,347). При этом нейтральное сечение находится между элементами 8 и 9, где приращение окружного напряжения меняет знак, а это напряжение и контактные давления имеют экстремальные значения. Отмеченное означает, что точное нахождение места нейтрального слоя разделением деформированной зоны меньшего числа равномерными элементами невозможно. В действительности нейтральный слой должен находиться между элементами 7 и 8. Точность этого граничного условия можно повысить увеличением числа элементов разделения в зоне нейтрального слоя, подобно [4], уменьшением размеров элементов.

Таблица 3

Данные численного моделирования процесса раскатки кольца

Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
φ_{1c}^0	6,0	5,4	4,8	4,2	3,6	3,0	2,4	1,8	1,2	0,6
φ_{2c}^0	16,0	14,4	12,8	11,2	9,6	8,0	6,4	4,8	3,2	1,6
$\Delta h_{1c}, мм$	0,310	0,280	0,249	0,211	0,183	0,148	0,114	0,082	0,049	0,016
$\Delta h_{2c}, мм$	0,446	0,404	0,355	0,307	0,259	0,215	0,161	0,117	0,070	0,024
$\Delta h_c, мм$	0,756	0,684	0,604	0,518	0,442	0,363	0,275	0,199	0,119	0,040
$h_c, мм$	6,244	5,560	4,956	4,438	3,996	3,633	3,358	3,159	3,040	3,000
$\Delta h_{1c}/\Delta h_c$	0,05	0,05	0,05	0,047	0,045	0,041	0,033	0,025	0,016	0,005
$\Delta h_c/h_c$	0,12	0,12	0,12	0,117	0,111	0,100	0,082	0,063	0,039	0,013
$\Delta h_{1c}/\Delta h_{2c}$	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
$tg\varphi_{2c}/tg\varphi_{1c}$	2,731	2,717	2,705	2,698	2,689	2,682	2,677	2,674	2,671	2,660
$-\Delta\sigma_\theta$	0,004	0,025	0,051	0,082	0,122	0,181	0,244	0,347	-0,563	-0,279
$-\bar{\sigma}_\theta$	0,004	0,029	0,080	0,162	0,284	0,465	0,709	1,056	0,493	0,214
$\bar{p}_1$	1,004	1,029	1,080	1,162	1,284	1,465	1,709	2,056	1,493	1,214
$\bar{p}_2$	1,919	1,957	2,045	2,195	2,417	2,750	3,202	3,848	2,791	2,260

Заключение. Определены числовые данные компонентов напряженно-деформированного состояния при раскатке кольца прямоугольного поперечного сечения с использованием компьютерных данных геометрических параметров раскатки кольца.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ГКН МОН РА в рамках научного проекта N 11-2d435.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Պետրոսյան Գ.Լ., Պետրոսյան Հ.Գ., Մոտալլեբի Ս.Ռ. Մեծ կորության շառավղով օղակի գրտնակման գործընթացի վերլուծական մեթոդով մոդելավորումը: Հաղորդում 1. Օղակի գրտնակման գործընթացի երկրաչափական պարամետրերի որոշման առանձնահատկությունները // Հայաստանի ճարտ. ակադ. Լրաբեր. – 2011. – Հ. 8, № 2. – էջ 337-341:
2. Петросян Г.Л., Петросян А.Г., Моталлеби С.Р. Особенности определения компонентов напряженного состояния процесса раскатки кольца большого радиуса кривизны // Изв. НАН Армении. Сер. Механика.-2012. -Том 65, № 3.- С. 61-67.
3. Петросян Г.Л., Петросян А.Г., Сафарян М.Б., Моталлеби С.Р. Вопросы численного и экспериментального моделирования процесса раскатки кольца большого радиуса кривизны // Сборник трудов Международной научно-технической конференции “Машиностроение и Техносфера XXI века”.- Донецк, 2012.- Том 2.- С. 273-275.
4. Պետրոսյան Գ., Լևոնյան Հ., Խաչատրյան Հ. Հարթ շերտի զլոցման գործընթացի հետազոտումը դեֆորմացված շրջանագծային եզրի՝ շոշափողներով մոդելավորմամբ// ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ)-ի ԼՐԱԲԵՐ. Գիտական և մեթոդական հոդվածների ժողովածու.- Երևան: Ճարտարագետ, 2010.- Հատոր 2, N1.- էջ 70-73:

ГИУА (Политехник). Материал поступил в редакцию 10.07.2012.

Գ.Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Հ.Հ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Հ.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

**ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՍԲ ՍՏԱՑՎԱԾ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ
ՏՎՅԱԼՆԵՐՈՎ ՄԵԾ ԿՈՐՈՒԹՅԱՆ ՇԱՌԱՎՂՈՎ ՕՂԱԿԻ ԳՐՏՆԱԿՄԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ԼԱՐՎԱԾԱՅԻՆ ՎԻՃԱԿԻ ԲԱՂԱԴՐԻՉՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ**

Օղակի գրտնակման գործընթացի խնդիրը լուծվել է՝ օգտագործելով տարրի հավասարակշռության դիֆերենցյալ հավասարումը, Տրեսկա – Սեն-Վենանի պլաստիկության պայմանը, օղակի գրտնակման գործընթացի համակարգչային ընթացիկ երկրաչափական պարամետրերի տվյալները և եզրային պայմանները: Օղակի լարվածային վիճակի բաղադրիչների թվային հաշվարկների դեպքում դրա դեֆորմացված գոտին բաժանվում է տասը հավասարաչափ տարրերի: Ներկայացված է շրջանային լարումների և հպակային նորմալ ճնշումների չափում չունեցող մեծությունների հաշվարկային արդյունքների վերլուծություն:

Առանցքային բառեր. լարվածային վիճակի բաղադրիչներ, համակարգչային երկրաչափական պարամետրեր, եզրային պայմաններ:

G.L. PETROSYAN, H.KH. KHACHATRYAN, H.G. PETROSYAN

**THE METHOD OF CALCULATION OF STRESS STATE COMPONENTS IN THE
PROCESS OF RING EXPANSION BY THE DATA OF RECEIVED BY COMPUTER
MODELLING GEOMETRICAL PARAMETERS**

The problem of the ring expansion process has been solved by using differential equations of element equilibrium, plasticity conditions of Treska – Sen-Venan, computer data of current geometrical parameters of ring expansion process and boundary conditions. In case of numerical calculation the deformation zone of the ring is divided into ten equal elements. The results of calculation of measureless dimensions of cylindrical stress and contact normal pressures are analyzed.

Keywords: stress state components, computer geometrical parameters, boundary conditions.