

УДК 621

## РАСЧЕТ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ ЗАГОТОВОК В УСТАНОВКЕ ДЛЯ ИХ СТАБИЛИЗАЦИИ

Сандомирский С. Г.<sup>1</sup>, Яворский В. В.<sup>2</sup>, Антонок В. Е.<sup>1</sup>, Солдатенков В. И.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ»  
Жодино, Республика Беларусь

<sup>3</sup>ОАО «КУЗЛИТМАШ», Пинск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Приведена информация о разрабатываемой установке для стабилизации размеров кольцевых заготовок малой жесткости после кольцераскатки и снижения остаточных напряжений в них. В основу расчетов силовых параметров циклического нагружения кольцевой заготовки положено математическое моделирование операции нагружения кольцевой заготовки радиальными усилиями. Проанализированы схемы нагружения кольцевой заготовки по внутреннему диаметру разным количеством (2, 3, 6, 8) радиальных усилий. Показано, что расчетные и моделированные напряжения на внутреннем диаметре кольцевой заготовки хорошо совпадают. Результаты расчетов предназначены для разработки технологического обеспечения автоматизированного кольцераскатного комплекса ОАО «БЕЛАЗ – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ».

**Ключевые слова:** кольцераскатка, кольцевая заготовка, остаточные напряжения, циклическое нагружение, динамическая стабилизация.

## CALCULATION OF FORCE PARAMETERS OF CYCLIC LOADING OF RING BILLETS IN THE INSTALLATION FOR THEIR STABILIZATION

Sandomirski S.<sup>1</sup>, Yavorski V.<sup>2</sup>, Antonyuk V.<sup>1</sup>, Soldatenkov V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>OJSC «BELAZ» – Management Company of Holding «BELAZ-HOLDING»  
Zhodino, Republic of Belarus

<sup>3</sup>JSC «KUZLITMASH»  
Pinsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Advantages and problems of ring rolling production are described. The method of controlled cooling – cyclic loading of the ring while cooling down – is proposed to improve the accuracy of manufacturing of low-stiffness rings and to reduce residual stresses in them. Its advantage over other types of dressing is explained. Recommendations are given on creation of experimental installation for elimination of deformations arisen in the process of production of low-stiffness rings and removal of residual stresses in them. The developed recommendations are used in the design of the installation. They will ensure the implementation of the technique of controlled cooling of low-stiffness rings during their production by ring rolling at the Belarusian Automobile Plant.

**Key words:** ring rolling, ring billet, residual stresses, cyclic loading, dynamic stabilisation.

Адрес для переписки: Сандомирский С. Г., ул. Академическая, 12, г. Минск 220012, Республика Беларусь  
e-mail: sand\_work@mail.ru

Производство маложестких кольцевых заготовок – одно из актуальных направлений машиностроения. Основной технологии их изготовления является кольцераскатка [1], при которой возникает геометрическая погрешность в виде овальности. Кроме того, при механической и термической обработках деталей возникают остаточные напряжения, изменяющие геометрические размеры и форму изделий при эксплуатации. Для решения задачи стабилизации размеров и снижения остаточных напряжений таких заготовок предложена технология их стабилизации [2], основанная на использовании циклического нагружения заготовок. Для ее реализации на основании патента [3] разработана экспериментально-производственная установка (рисунок 1) для устранения возникших в процессе производства маложестких колец деформаций и снятия остаточных напряжений в них [4].

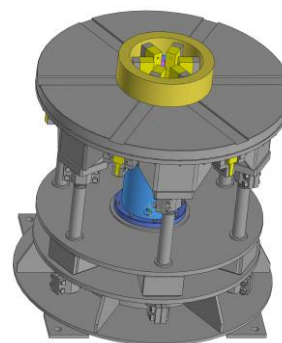


Рисунок 1 – Внешний вид (изометрия) экспериментально-производственной установки

**Цель доклада** – моделирование нагружения кольцевой заготовки для определения режимов работы установки.

Для принятой схемы нагружения изгибающий момент  $M_\phi$  и нормальное усилие  $N_\phi$  в сечении кольца определяются по зависимостям [5]:

$$M_\phi = P r \left( \frac{1}{\alpha} - \frac{\cos((\alpha/2)-\phi)}{2 \sin(\alpha/2)} \right), \quad (1)$$

$$N_\phi = \frac{P}{2 \sin(\alpha/2)} \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \phi\right), \quad (2)$$

где  $P$  – радиальная сила;  $n$  – их число;  $r$  – радиус кольца;  $\alpha = \frac{2\pi}{n}$  – угол силами.

Напряжение изгиба равно:

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W}, \quad (3)$$

где  $W = hs^2/6$  – момент сопротивления сечения кольца;  $s$  – ширина сечения кольца;  $h$  – высота кольца.

Нормальное напряжение растяжения от действия нормального усилия  $N$  равно:

$$\sigma_p = \frac{N}{F}, \quad (4),$$

где  $F = h \cdot s$  – площадь сечения кольца.

Моделирование проведено с использованием программного обеспечения «Компас 3D» для колец разной жесткости радиальными усилиями  $P = 500$  кН с 2, 3, 6 и 8 позиционными схемами нагружения. На рисунках 2 и 3 приведены примеры моделирования 3 и 6 позиционных схем нагружения кольца  $462 \times 367 \times 135$  мм из стали 40ХМФА.

Проведенный расчет для этого кольца и колец размером  $392 \times 340 \times 36$  мм,  $480 \times 370 \times 135$  мм из сталей 40ХМФА и 40ХН показал, что с увеличением количества радиальных сил значения максимального изгибающего момента уменьшаются, а значения максимальных усилий растяжения увеличиваются.

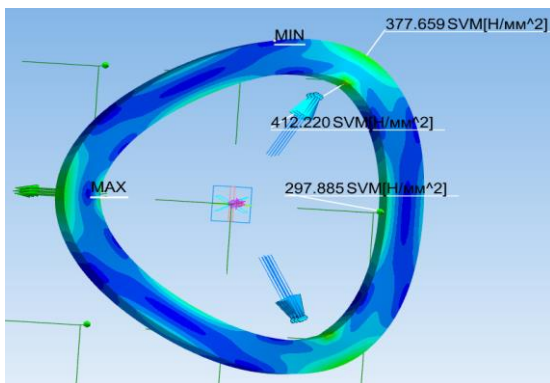


Рисунок 2 – 3-х плунжерная модельная схема нагружения кольца  $462 \times 367 \times 135$

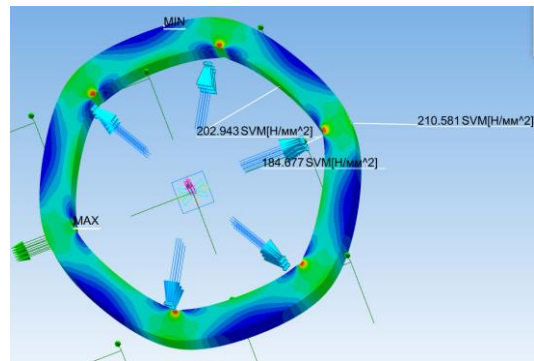


Рисунок 3 – 6-ти плунжерная модельная схема нагружения кольца  $462 \times 367 \times 135$

Анализ суммарных расчетных и моделированных напряжений для трех моделируемых колец позволил сделать выводы:

- суммарные расчетные и моделированные напряжения в расчетной точке между усилиями  $P$  на внутреннем диаметре кольца имеют полное совпадение;

- суммарные расчетные и моделированные напряжения в расчетной точке под усилиями  $P$  на внутреннем диаметре кольца имеют почти полное совпадение для схемы нагружения с 2-мя радиальными усилиями и небольшое расхождение для схем с 3 и 6 радиальными усилиями, которое объясняется тем, что расчет суммарного напряжения под усилиями  $P$  на внутреннем диаметре кольца не учитывает действия контактных напряжений.

#### Литература

1. Антонюк, В. Е. Кольцеракатка в условиях автоматизированного производства / В. Е. Антонюк, П. А. Пархомчик, В. В. Рудый. – Мн.: Беларуская навука, 2021. – 245 с.
2. Антонюк, В. Е. Динамическая стабилизация маложестких колец после кольцеракатки / В. Е. Антонюк, С. Г. Сандомирский // Механика машин, механизмов и материалов. – 2020. – № 3 (52). – С. 34–41.
3. Способ стабилизации формы и размеров маложесткого осесимметричного изделия: пат. на изобретение 23995 Респ. Беларусь, МПК В21D 3/08 / В. Е. Антонюк, В. В. Рудый, В. В. Яворский, С. Г. Сандомирский; заявитель: ОИМ НАН Беларуси. Заявл. 29.07.2021; опубл. 30.04.2023.
4. Антонюк, В. Е. Экспериментально-производственная установка для управляемого охлаждения маложестких колец / В. Е. Антонюк, В. В. Яворский, С. Г. Сандомирский // Приборостроение – 2023: Материалы 16-й межд. научно – технической конференции, Минск, 15–17 ноября 2023 / Мн.: БНТУ. – С. 260–261.
5. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин. Справочное пособие / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Р. М. Шнейдерович. – М.: «Машиностроение», 1966. – 616 с.