

УДК 621.81

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МАЛОЖЕСТКИХ КОЛЕЦ

Антонюк В.Е.<sup>1</sup>, Яворский В.В.<sup>2</sup>, Сандомирский С.Г.<sup>1</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

**Аннотация.** Описаны преимущества и проблемы производства изделий кольцераскаткой. Для повышения точности изготовления мало жестких колец и снижения остаточных напряжений в них предложена методика управляемого охлаждения – циклическое нагружение кольца при остывании. Объяснено ее преимущество перед другими видами правки. Даны рекомендации по созданию экспериментальной установки для устранения возникших в процессе производства мало жестких колец деформаций и снятия остаточных напряжений в них. Разработанные рекомендации использованы при проектировании установки. Они обеспечивают реализацию методики управляемого охлаждения мало жестких колец при их изготовлении кольцераскаткой на Белорусском автомобильном заводе.

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

## EXPERIMENTAL AND PRODUCTION PLANT FOR CONTROLLED COOLING OF LOW RIGID RINGS

Antonyuk V.E.<sup>1</sup>, Yavorski V.B.<sup>2</sup>, Sandomirski S.G.<sup>1</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

**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, stiffness, residual stresses, cyclic loading, dynamic stabilization, cooling.

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

Кольцераскатку широко используют в автомобилестроении, авиационной, космической и химической промышленности [1]. В ее основе лежит пластическое деформирование материалов, которое позволяет создавать ответственные детали с высокими точностью и механическими свойствами. Производство мало жестких деталей является приоритетным и актуальным направлением и для отечественного машиностроения. Основой технологии их изготовления является кольцераскатка в горячем состоянии (рисунок 1), при которой возникает специфическая геометрическая погрешность в виде овальности изготовленных мало жестких колец.

При охлаждении кольца происходит его температурная усадка и коробление. Точность колец зависит от ряда факторов и может различаться при изготовлении одних и тех же видов колец для разных производств. Кроме того, при механической и термической обработке деталей возникают остаточные напряжения,

изменяющие геометрические размеры и форму изделий при эксплуатации.



Рисунок 1 – Процесс кольцераскатки

Поиски эффективных технологических методов решения задачи стабилизации размеров и снижения остаточных напряжений в процессе изготовления таких деталей продолжают [2].

Для повышения точности кольцевых заготовок малой жесткости путем устранения погрешности в виде овальности, предложена технология их охлаждения и стабилизации, основанная на управлении тепловыми деформациями кольцевой заготовки при охлаждении.

**Управляемое охлаждение** заключается в охлаждении кольцевых заготовок с одновременным действием на их циклического нагружения при постоянном геометрическом параметре заготовки.

По изобретению [3] циклическое силовое воздействие на кольцевое изделие 1 внутренним радиусом  $r$  осуществляют в радиальных направлениях по внутреннему периметру изделия в противоположных от оси изделия направлениях силами разжима  $P$  (рисунок 2).

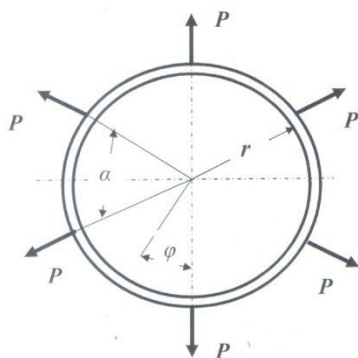


Рисунок 2 – Схема нагружения кольцевой заготовки 6-ю равномерно распределенными радиальными силами

При этом однополярная сила разжима  $P$ , благодаря кольцевой форме изделия 1, создает в его материале растягивающие усилия противоположного направления. Приложение сил разжима  $P$  в противоположных от оси изделия 1 направлениях (рисунок 2) обеспечивает устойчивое положение изделия 1 в процессе стабилизации его размеров. Силовое воздействие на изделие 1, в соответствии с [3], обеспечивает создание в материале изделия 1 напряжений нужной величины  $\sigma_m$  для всех ступеней, изделия из которых подвергают стабилизации размеров.

**Экспериментальная установка** для стабилизации маложестких колец основана на нагружении кольца рычажно-шарнирным механизмом двухстороннего действия (рисунок 3).

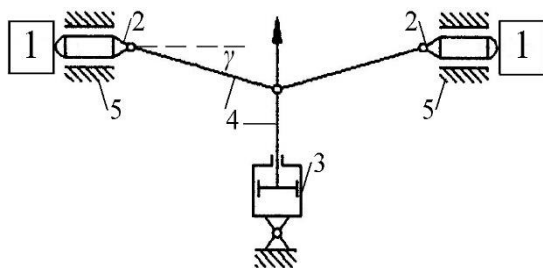


Рисунок 3 – Схема нагружения в маложесткого кольца 1 плунжерами 2 в устройстве по патенту [3], 3 – гидропривод, 4 – рычажно-шарнирный механизм, 5 – корпус,  $\gamma$  – угол наклона рычага

Количество вращательных перемещений сил  $P$  разжима вдоль внутренней поверхности кольца устанавливают из расчета воздействия на материал кольца до 200 циклов нагружения. Количество циклов с максимальным нагружением, обеспечивающим создание в материале кольца напряжений величиной  $\sigma_m$  и расположенных в циклограмме нагружения симметрично относительно ее центра – до 60. Схема циклограммы нагружения, согласно которой должны меняться растягивающие напряжения в изделии, представлена на рисунке 4.

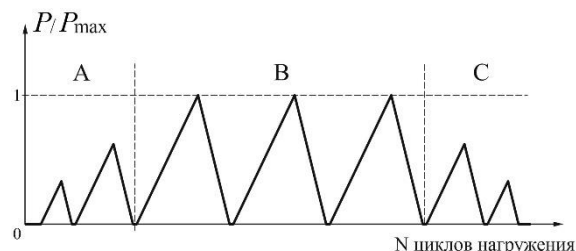


Рисунок 4 – Схема циклограммы динамической стабилизации маложестких колец по [3]

Циклограмма динамической стабилизации должна состоять из участков  $A$ ,  $B$  и  $C$  (рисунок 4). На участке  $A$  происходит рост нагрузки до начала возникновения в материале кольца 1 напряжений на уровне от 0,9 до 0,95 предела текучести  $\sigma_T$  материала кольца при температуре стабилизации и возникновения петли механического гистерезиса. На участке  $B$  ширина петли гистерезиса материала кольца стабилизируется. На участке  $C$  петля гистерезиса материала закрывается. На всех участках нагружение должно быть циклическим с достижением расчетного уровня нагружения.

В докладе рассчитаны перемещения элементов рычажно-шарнирного модуля устройства. Разработаны режимы работы установки. Ее использование обеспечит реализацию методики управляемого охлаждения маложестких колец, планируемых изготовлению методом кольцераскатки на Белорусском автомобильном заводе.

#### Литература

1. Антонюк, В.Е. Кольцераскатка в условиях автоматизированного производства / В.Е. Антонюк, П.А. Пархомчик, В.В. Рудый. – Минск : Беларуская навука, 2021. – 245 с.
2. Антонюк, В.Е. Динамическая стабилизация маложестких колец после кольцераскатки / 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 // Афіц. бюл. 2023. № 2.