



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-111-121>
УДК 621.7

Поступила 16.04.2026
Received 16.04.2026

АНАЛИЗ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРАВКИ, ЭКСПАНДИРОВАНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ КОЛЬЦЕВЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ ИХ ПРОИЗВОДСТВЕ

В. Е. АНТОНЮК, С. Г. САНДОМИРСКИЙ, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Академическая, 12. E-mail: sand_work@mail.ru

В ходе изучения зарубежных и отечественных технологий изготовления кольцевых заготовок проведен анализ причин возникновения погрешностей формы кольцевых заготовок. Дана формулировка содержания операций правки, экспандирования и стабилизации при их использовании в качестве финишных операций при изготовлении кольцевых заготовок. Разработаны рекомендации целесообразности и возможности использования этих операций для обеспечения высокой точности и стабильности геометрической формы кольцевых заготовок. Особое внимание уделено изготовлению маложестких кольцевых заготовок. Результаты предназначены для использования при изготовлении кольцевых заготовок на действующем кольцераскатном комплексе в ОАО «МПЗ» и на создаваемом в ОАО «БЕЛАЗ» автоматизированном кольцераскатном комплексе.

Ключевые слова. Кольцераскатка, кольцевая заготовка, правка, стабилизация, экспандирование.

Для цитирования. Антонюк, В. Е. Анализ отличительных особенностей правки, экспандирования и стабилизации кольцевых заготовок при их производстве / В. Е. Антонюк, С. Г. Сандомирский // *Литье и металлургия*. 2026. № 2. С.111–121. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-111-121>.

ANALYSIS OF THE DISTINCTIVE FEATURES OF STRAIGHTENING, EXPANDING AND STABILIZING RING BLANKS DURING THEIR PRODUCTION

V. E. ANTONYUK, S. G. SANDOMIRSKI, Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 12, Akademicheskaja str. E-mail: sand_work@mail.ru

Based on the analysis of foreign and domestic technologies for the production of ring blanks, an analysis of the causes of errors in the shape of ring blanks was carried out. The formulation of the content of the operations of straightening, expanding and stabilization when they are used as finishing operations in the manufacture of ring blanks is given. Recommendations have been developed on the feasibility and possibility of using these operations to ensure high precision and stability of the geometric shape of ring blanks. Particular attention is paid to the production of low-rigidity ring blanks. The results are intended for use in the production of ring blanks at the existing ring-rolling complex at public corporation MPZ and at the automated ring-rolling complex being created at public corporation BELAZ.

Keywords. Ring rolling, ring blank, straightening, stabilization, expanding.

For citation. Antonyuk V. E., Sandomirski S. G. Analysis of the distinctive features of straightening, expanding and stabilizing ring blanks during their production fatigue of drilling. *Foundary production and metallurgy*, 2026, no. 2, pp. 111–121. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-111-121>.

Введение

В Беларуси в ОАО «МПЗ» в 2017 г. введен в эксплуатацию автоматизированный комплекс для изготовления кольцевых заготовок диаметром до 600 мм [1]. ОАО «БЕЛАЗ» создает автоматизированный кольцераскатный комплекс для производства кольцевых заготовок диаметром до 3000 мм [2].

Можно прогнозировать, что два автоматизированных комплекса удовлетворят не только потребности белорусских предприятий в кольцевых заготовках, но и обеспечат их поставку на экспорт – в Российскую Федерацию. Но при этом следует ориентироваться на поставку маложестких кольцевых заготовок с высокой точностью и стабильностью геометрической формы, повышенными структурными и механическими свойствами, которые наиболее востребованы и широко используются в транспортном машиностроении, авиационной, космической и химической промышленности при производстве крупногабаритных подшипников, дисков турбин, элементов ветряных установок, опорных колец, специальных

зубчатых колес. К таким изделиям предъявляют требование минимальной массы при максимальных эксплуатационных показателях. Поэтому кольцевые заготовки для таких изделий имеют максимальное приближение к форме окончательной детали и малую жесткость. Важную роль в выполнении этих требований играют финишные операции изготовления кольцевых заготовок – правка, экспандирование и стабилизация, отличительные особенности которых проанализированы в настоящей статье.

Цель статьи – определение условий применения и разработка основных требований к использованию правки, экспандирования и стабилизации как финишных операций изготовления кольцевых заготовок.

Классификация кольцевых заготовок по типам «диск», «фланец» и «гильза» предложена в [3] по отношению d/D внутреннего диаметра d кольцевой заготовки к ее наружному диаметру D и по отношению s/h ширины s сечения кольцевой заготовки к ее высоте h (табл. 1).

Таблица 1. Классификация кольцевых заготовок по типам «диск», «фланец» и «гильза»

| Тип кольца | Соотношение d/D | Соотношение s/h |
|------------|-------------------|-------------------|
| Диск | 0,45–0,69 | 1,31–4,0 |
| Фланец | 0,70–0,80 | 0,71–1,30 |
| Гильза | 0,81–0,95 | 0,20–0,70 |

Для оценки жесткости кольцевых заготовок предложено использовать коэффициент δ_P влияния, который равен [4]:

$$\delta_P = \frac{3\pi r^3}{EJ},$$

где $J = hs^3/12$ – момент инерции сечения кольцевой заготовки; r – ее средний радиус.

Кольцераскатка является сложным, на сегодняшний день еще не совсем понятным и предсказуемым процессом. Изготовители и пользователи кольцераскатных станов совершенствуют системы управления процессом кольцераскатки. Использование систем с ЧПУ позволило существенно повысить скорость управления кольцераскатными станами по сравнению с ручным управлением, запоминать обрабатываемые при ручном управлении режимы и оперативно вносить необходимые поправки.

Погрешности кольцевых заготовок в первую очередь связаны с принципиальной схемой кольцераскатки (рис. 1), при которой деформирование кольцевой заготовки происходит в локальных зонах, составляющих незначительную часть от общей поверхности кольцевой заготовки (рис. 2).

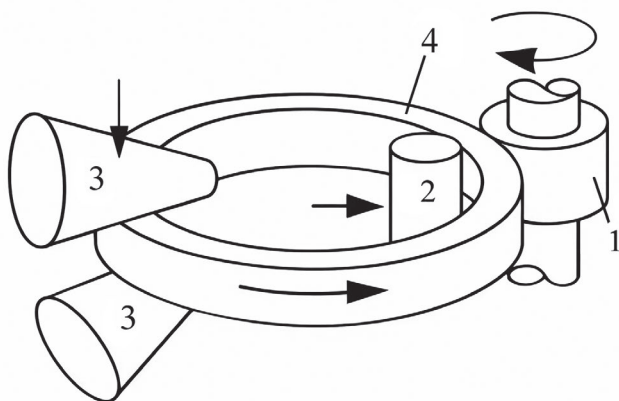


Рис. 1. Схема кольцераскатки: 1 – главный валок; 2 – дорновой валок; 3 – осевые валки; 4 – кольцевая заготовка

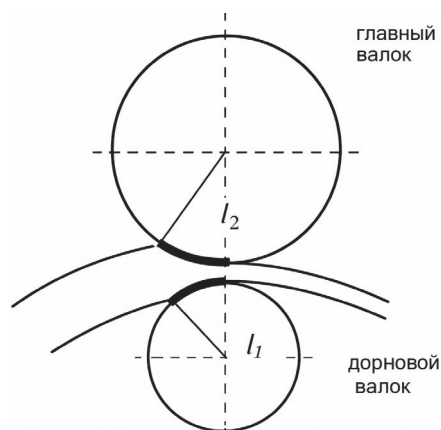


Рис. 2. Зоны l_1 и l_2 контакта кольцевой заготовки с дорновым и главным валками

При кольцераскатке может происходить нарушение контакта инструмента с кольцевой заготовкой с существенным искажением формы (рис. 3). Но даже при отлаженной технологии кольцераскатки возникают погрешности кольцевых заготовок (рис. 4) [5].

Отклонение от круглости – часто встречающаяся погрешность. Ее причиной является разное соотношение осевых и радиальных усилий и относительных скоростей между кольцевой заготовкой и роликом.

Конусность кольца зависит от соотношения высоты и толщины кольца, а также от исходной погрешности отверстия заготовки под кольцераскатку.



Рис. 3. Нарушение контакта инструмента с кольцевой заготовкой, приводящее к нарушению ее формы

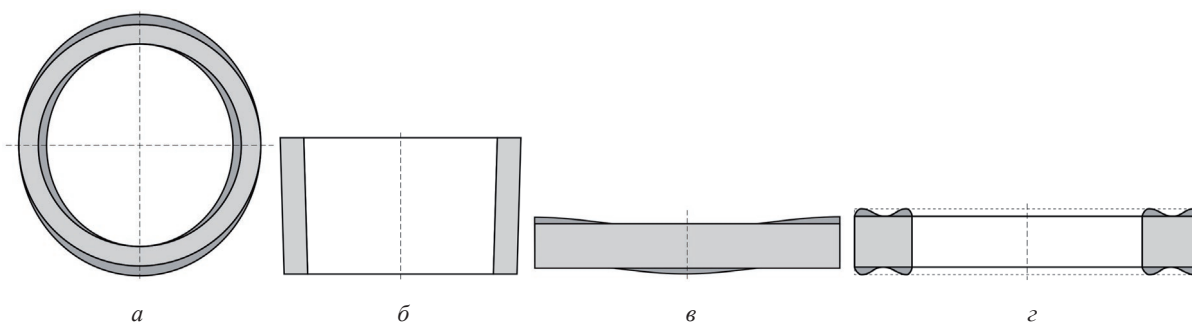


Рис. 4. Типичные погрешности кольцевых заготовок после кольцераскатки:

a – отклонение от круглости; *b* – конусность; *v* – отклонение от плоскостности; *z* – погрешность формы сечения

Отклонения от плоскостности и погрешность формы сечения возникают вследствие разного течения материала в зоне контакта кольцевой заготовки с дорновым валком.

Температурное влияние на погрешность кольцевой заготовки заключается в том, что процесс кольцераскатки начинается при температуре около 1200 °С и заканчивается при температуре около 900 °С с дальнейшим охлаждением и температурной усадкой. Величины температурной усадки рассчитывают по коэффициенту линейного расширения материала. Но во многих случаях действует ряд факторов, приводящих к дополнительной погрешности кольцевой заготовки. К ним относятся отклонения температур на разных операциях, которые могут колебаться от –100 до +30 °С.

Следует учитывать и возможные погрешности самого процесса кольцераскатки, которые связаны с износом инструмента, изменением температурного состояния оборудования в начале и в процессе производства.

Достижимая точность кольцераскатки зависит от ряда факторов и может различаться при изготовлении одних и тех же кольцевых заготовок для разных производств и до настоящего времени нет однозначного решения по достигаемой точности кольцераскатки. Приблизительно для оценки достигаемой точности кольцевых заготовок можно воспользоваться рекомендациям фирмы Wagner Dortmund [6] (табл. 2), но следует учитывать, что они распространяются только при кольцераскатке на установках типа RAW.

Правка – процесс достижения требуемых геометрических параметров изделий в процессе их изготовления. В большинстве случаев правка осуществляется статической нагрузкой в направлении, противоположном искажению. Недостаток этого метода состоит в том, что при деформировании статической нагрузкой остаточные напряжения не удаляются и спустя некоторое время правленная деталь может приобретать прежнюю форму.

Для правки колец наиболее простой является схема нагружения двумя радиальными усилиями по направлению к центру кольца (рис. 5).

По этой схеме для правки деталей типа колец диаметром до 400 мм компания GALDABINI предлагает устройство для правки, обеспечивающее точность до 0,08 мм при производительности 200 колец в час (рис. 6) [7].

Т а б л и ц а 2. Достижимая точность кольцераскатки на установках типа RAW

| Наружный диаметр кольца, мм | Ширина кольца, мм | Припуск на наружный диаметр, мм | Допуск на наружный диаметр, плюс-минус, мм | Припуск на внутренний диаметр, мм | Допуск на внутренний диаметр, плюс-минус, мм | Припуск на ширину, мм | Допуск на ширину, плюс-минус, мм |
|-----------------------------|-------------------|---------------------------------|--|-----------------------------------|--|-----------------------|----------------------------------|
| До 325 | До 100 | 4,5 | 1,0 | 5,5 | 1,0 | 4,5 | 1,0 |
| | 101–150 | 4,5 | 1,0 | 5,5 | 1,0 | 4,5 | 1,0 |
| | 151–200 | 5,3 | 1,3 | 6,3 | 1,3 | 5,0 | 1,0 |
| 326–400 | До 100 | 4,5 | 1,0 | 5,5 | 1,0 | 4,5 | 1,0 |
| | 101–150 | 4,8 | 1,3 | 5,8 | 1,3 | 4,5 | 1,0 |
| | 151–200 | 5,5 | 1,5 | 6,5 | 1,5 | 5,0 | 1,0 |
| 401–500 | До 100 | 4,8 | 1,3 | 5,8 | 1,3 | 4,5 | 1,0 |
| | 101–150 | 5,0 | 1,5 | 6,0 | 1,5 | 4,5 | 1,0 |
| | 151–200 | 5,5 | 1,5 | 6,5 | 1,5 | 5,0 | 1,0 |
| 501–600 | До 100 | 6,0 | 1,5 | 7,0 | 1,5 | 5,5 | 1,0 |
| | 101–150 | 6,3 | 1,8 | 7,3 | 1,8 | 5,8 | 1,3 |
| | 151–200 | 6,8 | 1,8 | 7,8 | 1,8 | 6,3 | 1,3 |
| 601–700 | До 100 | 6,3 | 1,8 | 7,3 | 1,8 | 5,8 | 1,3 |
| | 101–150 | 7,0 | 2,0 | 8,0 | 2,0 | 6,3 | 1,3 |
| | 151–200 | 7,5 | 2,0 | 8,5 | 2,0 | 6,8 | 1,3 |

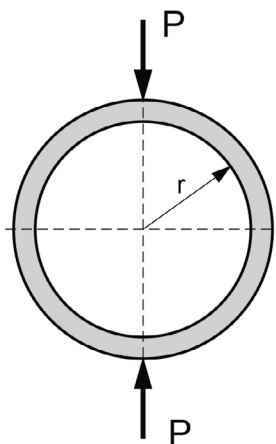


Рис. 5. Схема нагружения кольцевой заготовки двумя радиальными усилиями при правке



Рис. 6. Устройство компании GALDABINI для правки кольцевых заготовок

Процесс правки включает в себя предварительное измерение изделия до правки с последующей деформацией его на расчетную величину, определение которой учитывает ряд геометрических характеристик изделия и свойств материала. Устройства для правки компания GALDABINI оснащает системами ЧПУ и разрабатывает специальные программные обеспечения, поставляемые вместе с устройствами для правки. При такой правке кольца будут иметь разное циклическое время правки. Информации о возможности встраивания устройства для правки компании GALDABINI для работы в автоматизированной линии нет.

По результатам оценки возможностей использования правки при изготовлении кольцевых заготовок можно сделать выводы:

- правку можно использовать для исправления погрешности внутреннего диаметра и пропорционально наружного диаметра кольцевых заготовок малой жесткости типа «гильза» и «фланец»;
- большинство изготовителей кольцевых заготовок не использует правку;
- информации о режимах и результатах правки кольцевых заготовок в автоматизированных линиях для изготовления кольцевых заготовок в доступных источниках нет;
- правка является финишной операцией и устройство для правки кольцевых заготовок должно располагаться после контроля «холодной» кольцевой заготовки;
- правка позволяет повысить точность кольцевой заготовки, но не снижает остаточных напряжений и не гарантирует сохранение достигнутой точности при эксплуатации или хранении;
- использование устройства для правки в составе автоматизированной линии изготовления кольцевых заготовок требует разработку конструкции устройства для правки с учетом тактового времени линии;
- из европейских изготовителей устройств для правки колец наиболее известной является компания GALDABINI, но предлагаемые ею устройства для правки не снижают остаточные напряжения и не гарантируют сохранение достигаемых результатов в течение длительного времени;
- использование правки возможно при отсутствии требований по устранению остаточных напряжений.

Экспандирование (expanding) – процесс контролируемого расширения (растягивания) материала или изделия. Используется в металлургии для увеличения диаметра и исправления формы поперечного сечения стальных труб большого диаметра. При этом диаметр трубы увеличивается на 1–3%. Экспандирование при изготовлении кольцевых заготовок используют для исправления их геометрических погрешностей в горячем состоянии после кольцераскатки. Основное назначение экспандеров в этом случае определяется как «расширитель» для увеличения диаметра кольцевых заготовок после кольцераскатки в горячем состоянии в диапазоне температур от 900–950 до 650–750 °C [9].

Все экспандеры для кольцевых заготовок имеют одну и ту же кинематическую схему, основанную на использовании клинового механизма с углом наклона клиньев 6°, который преобразует перемещение штока гидроцилиндра в радиальные перемещения плунжеров.

На рис. 7 показаны общие виды экспандеров компании Tianshui Metalforming Machine Tool Co (Китай) [8].

Они предназначены для расширения концов стальных труб из сталей марки X80 диаметрами от 457 до 1422 мм с толщиной стенки 6–22 мм. Расширение происходит на конце трубы шириной 150–250 мм с увеличением диаметра на 1,5%.



Рис. 7. Конструкция экспандера KJ-22 / 1422X12500 для калибровки концов труб компании Tianshui Metalforming Machine Tool Co

Основные изготовители экспандеров компании SMS Meer (Германия), Burns Machinery Inc (США), Beckwood Press Co (США) рекламируют возможность их использования при изготовлении кольцевых заготовок с улучшенными техническими параметрами, но не раскрывают технологии и достигаемые результаты. Из доступной информации известно наличие на предприятии Forgital (Италия) экспандера компании SMS Meer модели RKP 5000-6000/1200 для колец диаметром 6000 мм и на предприятии Firth Rixson Viking (США) экспандера компании SMS Meer модели RKP 2700-3650/950 для колец с диаметром 3650 мм [9]. Имеется также информация о наличии экспандера у компании Euskalforging (Испания). Остальные европейские изготовители кольцевых заготовок экспандеры не используют. Информации о возможности использования экспандера в автоматизированных производствах кольцевых заготовок нет.

В табл. 3 приведены технические характеристики экспандеров компании SMS Meer, а на рис. 8 показана их монтажная схема.

Таблица 3. Технические характеристики экспандеров компании SMS Meer

| Параметр | RKP 500 | RKP 600 | RKP 1350 |
|--|----------|---------|-----------|
| Наружный диаметр кольца, мм | 1500 | 3000 | 3500 |
| Внутренний диаметр кольца, мм | 400÷1300 | | 1000–3500 |
| Минимальный внутренний диаметр кольца, мм | 300 | 380–460 | 1000 |
| Максимальная высота кольца, мм | 400 | 400 | 900 |
| Вертикальное усилие цилиндра, кН | 5000 | 6000 | 13500 |
| Площадь сечения кольца на одной стороне, мм ² | 40000 | | 110000 |
| Радиальный ход плунжера, мм | 60 | | 80 |
| Ход цилиндра (клина), мм | 580 | | 960 |
| Рабочая скорость плунжера, мм/с | 0,75 | 0,7 | 0,75 |
| Предел текучести в начале экспандирования, Н/мм ² | 100 | 100 | 100 |
| Предел текучести в конце экспандирования, Н/мм ² | 200 | 200 | 200 |
| Температура начала экспандирования, °С | 900 | 900 | 900 |
| Температура окончания экспандирования, °С | 750 | 750 | 750 |
| Гидравлическое рабочее давление, МПа | 25 | | 25 |
| Наклон клина, град | 6 | 6 | 6 |
| Количество плунжеров | 8 | 9 | 9 |

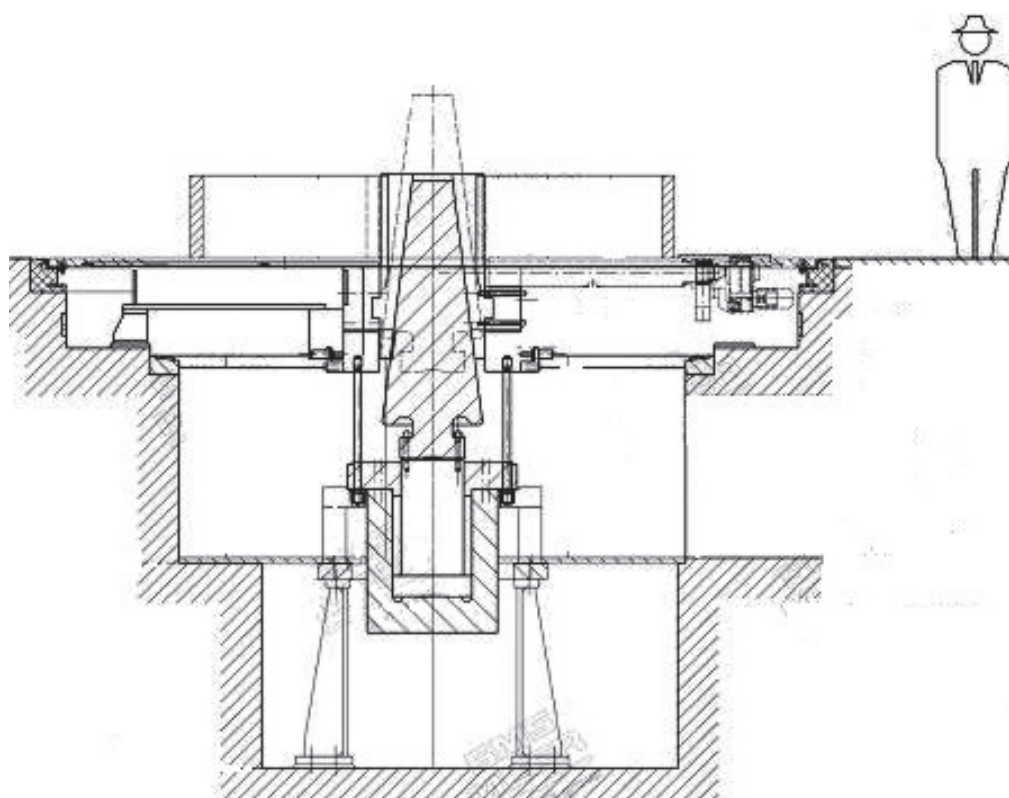


Рис. 8. Монтажная схема и сравнительный масштаб экспандера компании SMS Meer

По результатам оценки возможностей использования экспандирования при изготовлении кольцевых заготовок можно сделать выводы:

- большинство изготовителей кольцевых заготовок не использует экспандирование;
- информации о режимах и результатах экспандирования кольцевых заготовок, изготавливаемых кольцераскаткой, в доступных источниках нет;
- экспандеры располагаются непосредственно после кольцераскатной установки, что приводит к необходимости синхронизации тактового времени кольцераскатки и экспандирования;
- экспандирование начинается при температуре около 900–950 °С при пределе текучести материала кольцевой заготовки около 100 МПа и для синхронизации тактового времени кольцераскатки и экспандирования заканчивается при температуре около 650–750 °С при пределе текучести материала кольцевой заготовки около 200 МПа;
- при экспандировании происходит увеличение диаметра кольцевой заготовки, которое уточняют с учетом исходной погрешности внутреннего диаметра, требующей исправления;
- увеличение внутреннего и пропорционально наружного диаметра кольцевой заготовки при экспандировании следует компенсировать уменьшением диаметра «горячей» кольцевой заготовки на аналогичную величину после кольцераскатной установки;
- после окончания экспандирования при температуре 650–750 °С и последующем охлаждении будет происходить дальнейшее уменьшение размеров кольцевой заготовки, которое также должно быть учтено при ее проектировании после кольцераскатки;
- информации о возможностях экспандирования для снижения остаточных напряжений и стабилизации геометрических параметров кольцевой заготовки в доступных источниках нет;
- для использования экспандирования в составе автоматизированной линии для изготовления кольцевых заготовок требуется разработка технологии и конструкции экспандера для работы с учетом тактового времени автоматизированной линии;
- из европейских изготовителей экспандеров наиболее известной является компания SMS Meer, но предлагаемые ею экспандеры не гарантируют снижение остаточных напряжений;
- экспандирование может использоваться только для исправления погрешности формы внутреннего диаметра и пропорционально наружного диаметра путем их увеличения без снижения остаточных напряжений;
- использование экспандирования для изготовления высокоточных кольцевых заготовок со стабилизированными геометрическими параметрами нецелесообразно.

Стабилизация – снижение остаточных напряжений для сохранения геометрических параметров изделий в процессе их эксплуатации и хранения.

При изготовлении кольцевых заготовок для ответственных изделий с большой эксплуатационной надежностью, которые используют в авиационной, космической и оборонной промышленности, важно наличие технологических операций стабилизации и снижения до минимума остаточных напряжений в заготовке.

Основная причина возникновения остаточных напряжений при изготовлении кольцевых заготовок в том, что кольцераскатка относится к обработке металлов давлением, а все технологические процессы обработки металлов давлением сопровождаются неравномерной пластической деформацией по сечению и приводят к возникновению остаточных напряжений [10]. Вторая причина – неравномерное температурное поле по сечению при нагреве и охлаждении, которое приводит к неравномерному протеканию фазовых превращений в металле и также ведет к возникновению остаточных напряжений.

Термическая, термомеханическая и термоциклическая обработка деталей в качестве стабилизирующей обработки проанализированы в [11]. Отмечено, что термические методы стабилизирующей обработки устраняют остаточные напряжения, но приводят к разупрочнению материала и снижению сопротивления микропластическим деформациям. Кроме того, у деталей сложной конфигурации возникают дополнительные термические деформации. Поэтому методы термической обработки не всегда и не полностью решают проблему стабилизации геометрических параметров сложных изделий. Для объективной оценки возможностей термической обработки для снижения остаточных напряжений в кольцевых заготовках надо использовать специальные средства контроля остаточных напряжений после термической обработки. Это требует дополнительных затрат и в большинстве случаев отсутствует в технологиях термической обработки.

Вибрационная обработка получила применение при обработке сварных конструкций для снижения остаточных напряжений. Ультразвуковую обработку используют при изготовлении колец подшипников

вместо термической обработки. Динамическое старение используют при обработке пружинных сталей. Но эти виды стабилизации не имеют конструктивных решений для стабилизации кольцевых заготовок.

Наиболее приемлемым методом для стабилизации кольцевых заготовок можно считать динамическую стабилизацию [12], которая основана на том, что при нагружении детали знакопеременной нагрузкой происходит стабилизация геометрической формы детали относительно оси или плоскости приложения нагрузки и одновременное снятие остаточных напряжений. На основе динамической стабилизации разработаны основные положения по назначению технологических параметров для стабилизации геометрических параметров кольцевых заготовок, которые защищены патентом [13].

К настоящему времени для реализации требований по изготовлению стабилизированных кольцевых заготовок типа «гильза» и «фланец» с повышенной точностью разработана методика расчета технологических режимов стабилизационной обработки кольцевых заготовок, изготовленных кольцераскаткой [14]. Последовательность операций при стабилизационной обработке «горячих» кольцевых заготовок приведена в табл. 4. Общий вид экспериментальной установки УПК 100 для стабилизации маложестких колец показан на рис. 9, а ее технические характеристики представлены в табл. 5.

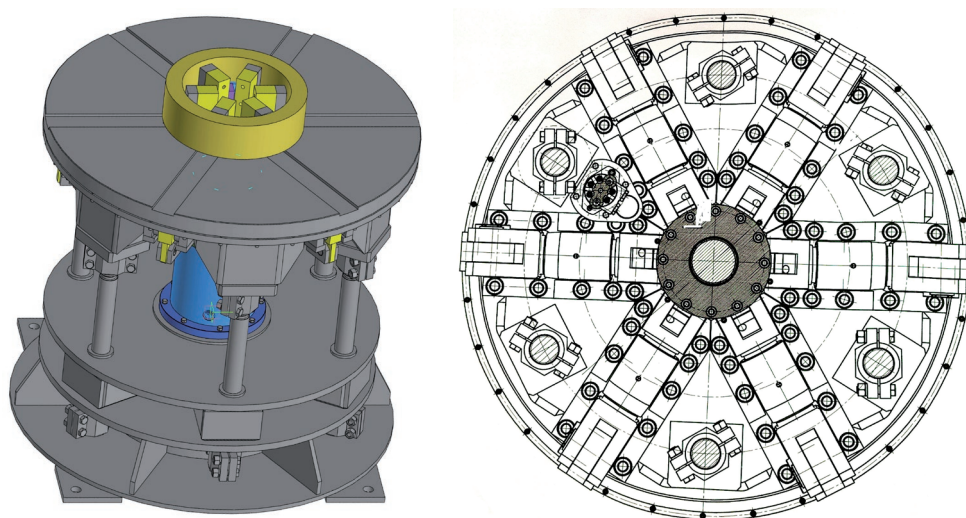


Рис. 9. Фронтальная изометрия и вид сверху экспериментальной установки УПК 100 для стабилизации маложестких колец

Т а б л и ц а 4. Последовательность операций стабилизационной обработки «горячих» кольцевых заготовок

| Последовательность операций | Эскиз |
|---|--|
| <p>Горячее кольцо с температурой 900 °С, с внутренним диаметром 344,5 мм и овальностью до 4 мм помещается на устройство с максимально разжатым положением плунжеров на размер, равный верхнему допуску по качеству IT16 на внутренний диаметр холодного кольца, $340 + 1,8 = 341,8$ мм</p> | <p>The sketch shows a cross-section of a ring with an outer diameter $d_{гор}$ and an inner diameter $d_{хол} + \delta$. The inner diameter is smaller than the outer diameter, indicating ovality.</p> |
| <p>Включается возвратно-поступательное движение плунжеров и вращение кольца. Кольцо начинает нагружаться нагрузкой в зонах контакта минимального внутреннего диаметра горячего кольца с плунжерами, происходит интенсивное уменьшение овальности</p> | <p>The sketch shows the ring with arrows indicating the reciprocating movement of the plungers and the rotation of the ring. The inner diameter is now labeled $d_{хол} + \delta$, showing it has increased towards the outer diameter.</p> |

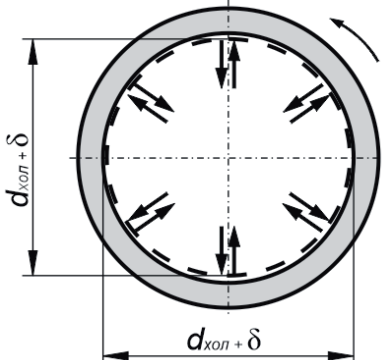
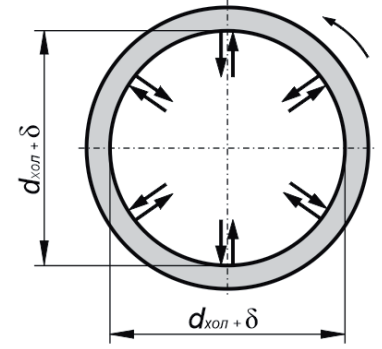
| | |
|---|--|
| <p>Продолжается возвратно-поступательное движение плунжеров с поворотом кольца на каждом возвратно-поступательном движении плунжеров на $\frac{1}{2}$ шага между плунжерами. Кольцо охлаждается до температуры примерно до 200 °С до полного контакта внутреннего диаметра кольца с плунжерами с диаметром 341,8 мм</p> |  |
| <p>Выполняется калибрующее возвратно-поступательное движение плунжеров при охлаждении кольца ниже температуры 200 °С с деформированием кольца при достижении заданного условного предела текучести при температуре 200 °С. Количество калибрующих возвратно-поступательное движение плунжеров при охлаждении кольца ниже температуры 200 °С уточняют по результатам достижения заданной овальности и заданного допуска на внутренний диаметр 340±1,8 мм</p> |  |

Таблица 5. Технические параметры установки УПК 100 для стабилизации кольцевых заготовок

| Наименование параметра | Характеристика |
|--|-------------------|
| Тип механизма нагружения кольца | Рычажно-шарнирный |
| Количество рычагов, шт. | 6 |
| Тип привода рычагов | Гидравлический |
| Максимальный наружный диаметр кольца, мм | 1200 |
| Минимальный внутренний диаметр кольца, мм | 340 |
| Максимальная высота кольца, мм | 135 |
| Максимальная масса кольца, кг | 100 |
| Максимально допустимая температура кольца, °С | 700 |
| Номинальное усилие, развиваемое силовым гидроцилиндром, кН | 1000 |
| Допускаемое усилие на нагружающем плунжере при 6-рычажной схеме нагружения, кН | 500 |
| Допускаемое усилие на нагружающем плунжере при 3-рычажной схеме нагружения, кН | 500 |
| Ход штока гидроцилиндра, мм, не менее | 100 |
| Радиальное перемещение нагружающего плунжера, мм | 15 |
| Рабочий стол | Поворотный |

По результатам оценки возможностей использования стабилизации при изготовлении кольцевых заготовок можно сделать выводы:

- информация о режимах и результатах стабилизации кольцевых заготовок в автоматизированных линиях для изготовления кольцевых заготовок в доступных источниках отсутствует;
- наиболее приемлемым вариантом для выполнения требований по стабилизации кольцевых заготовок с одновременным повышением точности геометрических параметров может быть способ стабилизации формы и размеров малоэстетического осесимметричного изделия по патенту [13].

Выводы

1. Дана оценка особенностей и возможности использования при изготовлении кольцевых заготовок в условиях автоматизированных линий в качестве финишных операций правки, экспандирования и стабилизации.

2. Отмечено, что при изготовлении кольцевых заготовок с использованием современных кольцераскатных комплексов с системами ЧПУ не гарантируется изготовление ответственных кольцевых заготовок с низкими остаточными напряжениями.

3. Приведено содержание операций экспандирования, правки и стабилизации, дана оценка и рекомендации по их использованию в качестве финишных операций при изготовлении кольцевых заготовок.

4. Использование экспандирования для изготовления высокоточных кольцевых заготовок со стабилизированными геометрическими параметрами нецелесообразно.

5. Использование правки возможно при отсутствии требований по устранению остаточных напряжений.

6. Наиболее приемлемым для реализации требований по изготовлению стабилизированных кольцевых заготовок типа «гильза» и «фланец» с повышенной точностью может быть «Способ стабилизации формы и размеров маложесткого осесимметричного изделия» по [13].

7. Результаты публикации могут быть использованы при изготовлении кольцевых заготовок на действующем кольцераскатном комплексе в ОАО «МПЗ» и на создаваемом в ОАО «БЕЛАЗ» автоматизированном кольцераскатном комплексе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Введен в эксплуатацию кольцераскатный комплекс Muraro // Газета Минского подшипникового завода. – 2017. – № 5. – С. 1–3.
2. ОАО «БЕЛАЗ» построит современный комплекс кольцераскатки в Орше [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vitvesti.by/economy/belaz-postroit-v-orshe-sovremenniy-koltceraskatnyi-kompleks.html/>. – Дата доступа: 12.04.2026.
3. **Антонюк, В.Е.** Разработка классификатора колец при использовании процесса кольцераскатки / В.Е. Антонюк, В.В. Яворский // Вестник БрГТУ. Машиностроение. – 2019. – № 4. – С. 42–45.
4. **Биргер, И.А.** Расчет на прочность деталей машин: справ. пособие / И.А. Биргер, Ф.Шорр, Р.М. Шнейдерович. – М.: Машиностроение, 1966. – 616 с.
5. **Puller, S.** Simulation des Werkstoffflusses beim Ringwalzen mittels elementarer Plastitätstheorie: dis. ... dokt. [Electronic resource] / S. Puller. – Mode of access: <https://d-nb.info/969686099/34>. – Date of access: 12.04.2026.
6. Ringexpander [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.sms-meer.com/portfolio/schmiedetechnik/ringwalzen/ringexpander>. – Date of access: 12.04.2026.
7. Galdabini – Straightening Systems TED-ING. – 24 p.
8. Technologiehandbuch Radial-Axial-Ringwalzmaschine / Thyssen Maschinenbau GmbH. –: Wagner Dortmund, 1990. – 105 s.
9. KJ-22 / 1422X12500 Tianshui Metalforming Machine Tool Co [Electronic resource]. – Mode of access: <https://tsd-cn.en.made-in-china.com/product/AyzEcrNvXuWh/China-Steel-Pipe-Ends-Expander-KJ-22-1422X12500-.html>. – Date of access: 12.04.2026.
10. Ковка и штамповка: справочник: в 4 т. / Е.И. Семенов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка. – 568 с.
11. **Хенкин, М.Л.** Размерная стабильность металлов и сплавов в точном машиностроении и приборостроении / М.Л. Хенкин, И.Х. Локшин. – М.: Машиностроение, 1974. – 256 с.
12. **Антонюк, В.Е.** Динамическая стабилизация в производстве маложестких деталей / В.Е. Антонюк. – Минск: Беларуская навука, 2017. – 190 с.
13. Способ стабилизации формы и размеров маложесткого осесимметричного изделия: пат. 23995 Респ. Беларусь, МПК В21D 3/08 / В.Е. Антонюк, В.В. Рудый, В.В. Яворский, С.Г. Сандомирский; № а20210227; заявл. 29.07.2021; опубл. 30.04.2023. // Афіцыйны бюл. – 2023. – № 2.
14. **Антонюк, В.Е.** Обоснование силовых параметров стабилизации кольцевых заготовок малой жесткости / В.Е. Антонюк // Механика машин, механизмов и материалов. – 2024. – № 2. – С. 30–35.

REFERENCES

1. Vveden v jekspluataciju kol'ceraskatnyj kompleks Muraro [The Muraro ring rolling complex has been put into operation]. *Gazeta Minskogo podshipnikovogo zavoda = Minsk Bearing Plant Newspaper*, 2017, no. 5, pp. 1–3.
2. *OAO «BELAZ» postroit sovremennij kompleks kol'ceraskatki v Orsha* [OAO BELAZ will build a modern ring-rolling plant in Orsha] [Electronic resource]. Available at: <https://vitvesti.by/economy/belaz-postroit-v-orshe-sovremenniy-koltceraskatnyi-kompleks.html/> (accessed 12.04.2026).
3. **Antonjuk V.E., Javorskij V.V.** Razrabotka klassifikatora kolec pri ispol'zovanii processa kol'ceraskatki [Development of a ring classifier using the ring rolling process]. *Vestnik BrGTU. Mashinostroenie = BrSTU Bulletin. Mechanical Engineering*, 2019, no. 4, pp. 42–45.
4. **Birger I.A., Shorr F., Shnejderovich R.M.** *Raschet na prochnost' detalej mashin: sprav. posobie* [Strength Calculation of Machine Parts: Reference Guide]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1966, p. 616.
5. **Puller S.** Simulation des Werkstoffflusses beim Ringwalzen mittels elementarer Plastitätstheorie [Simulation of material flow during ring rolling using elementary plasticity theory]. Available at: <https://d-nb.info/969686099/34> (accessed 12.04.2026).
6. Ringexpander. Available at: <http://www.sms-meer.com/portfolio/schmiedetechnik/ringwalzen/ringexpander> (accessed 12.04.2026).
7. Galdabini – Straightening Systems TED-ING. 24 p.

8. Technologiehandbuch Radial-Axial-Ringwalzmaschine [Technology Handbook Radial-Axial Ring Rolling Machine] –Thyssen Maschinenbau Gmb H. –: Wagner Dortmund, 1990, p. 105.
9. KJ-22 / 1422X12500 Tianshui Metalforming Machine Tool Co. Available at: <https://tsd-cn.en.made-in-china.com/product/AyzEcrNvXuWh/China-Steel-Pipe-Ends-Expander-KJ-22-1422X12500.html> (accessed 12.04.2026).
10. **Semenov E. I. [et al.]**. *Kovka i shtampovka: spravochnik: v 4 t. T. 1. Materialy i nagrev. Oborudovanie. Kovka* [Forging and Stamping. Handbook. Vol. 1. Materials and Heating. Equipment. Forging]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 568 p.
11. **Henkin M. L., Lokshin I. H.** *Razmernaja stabil'nost' metallov i splavov v tochnom mashinostroenii i priborostroenii* [Dimensional stability of metals and alloys in precision engineering and instrument making]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1974, 256 p.
12. **Antonjuk V. E.** *Dinamicheskaja stabilizacija v proizvodstve malozhestkih detalej* [Dynamic stabilization in the production of low-rigidity parts]. Minsk, Belarus. navuka Publ., 2017, 190 p.
13. **Antonjuk V. E., Rudyj V. V., Javorskij V. V., Sandomirskij S. G.** *Sposob stabilizacii formy i razmerov malozhestkogo osesimmetrichnogo izdelija* [Method for stabilizing the shape and dimensions of a low-rigidity axisymmetric product]. Patent RB, № 23995. *Aficyjny byul. = Official Bulletin*, 2023.
14. **Antonjuk V. E.** *Obosnovanie silovyh parametrov stabilizacii kol'cevych zagotovok maloj zhestkosti* [Justification of the power parameters for stabilizing low-rigidity ring blanks]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov = Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2024, № 2, pp. 30–35.