

УДК 621.7

В.Е. АНТОНЮК, д-р техн. наук

главный научный сотрудник лаборатории металлургии в машиностроении¹

E-mail: vladi@tut.by

С.О. НИКИФОРОВИЧ

генеральный директор²

В.В. РУДЫЙ, канд. техн. наук

главный технолог²

E-mail: rvw@belaz.minsk.by

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь²ОАО «БЕЛАЗ» — управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ», г. Жодино, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 24.05.2021.

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПОВТОРНОГО НАГРЕВА В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ ЗАГОТОВОК

Рассмотрены особенности и требования к использованию повторного нагрева кольцевых заготовок в условиях изготовления автоматизированной линией. Дана оценка технологического температурного состояния кольцевых заготовок на различных стадиях их изготовления на автоматизированной линии. Для оценки целесообразности повторного нагрева кольцевых заготовок при их производстве предложена классификация технологии изготовления колец с получением прессовой непрофильной заготовки в открытом штампе, с получением прессовой профильной заготовки в закрытом штампе, с получением прессовой профильной заготовки в штампе с обратным выдавливанием. Технология кольцеразкатки с получением прессовой непрофильной заготовки в открытом штампе является самой экономичной и не требует использования повторного нагрева при изготовлении колец из среднелегированных сталей. Технология кольцеразкатки профильной заготовки, полученной в закрытом штампе, не требует применения дополнительного нагрева после прессования, в случае изготовления колец с упрощенным профилем на наружном или на внутреннем диаметрах кольца. При изготовлении колец с более сложным профилем на наружном и внутреннем диаметрах кольца, а также колец из высоколегированных сталей, окончательное решение о необходимости дополнительного нагрева принимается в зависимости от температуры окончания интенсивного пластического деформирования для выбранной марки стали кольца. Технология кольцеразкатки с получением прессовой профильной заготовки в штампе с обратным выдавливанием требует использования повторного нагрева после операции прессования перед операцией кольцеразкатки, и рекомендуется для изготовления колец из средне- и высоколегированных сталей со сложным профильным сечением на наружном и внутреннем диаметрах, толщинами стенок h , с отношением толщины стенки к наружному диаметру D в пределах $h/D = 0,011 \dots 0,016$ и с отношением толщины стенки к высоте кольца L в пределах $h/L = 0,020 \dots 0,041$. Предложенные рекомендации предназначены для использования при разработке технологического обеспечения работы автоматизированного кольцеразкатного комплекса на ОАО «БЕЛАЗ».

Ключевые слова: кольцевая заготовка, нагрев, прессование, раскатка, моделирование, пластическое деформирование

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2021-3-56-61-69>

Введение. В 2021 году планируется закупка автоматизированной линии для ОАО «БЕЛАЗ» для изготовления кольцевых заготовок с наружными диаметрами от 350 до 3000 мм, высотой колец от 20 до 600 мм, массой от 20 до 2500 кг. Для изготовления колец планируется использование сталей

марок 15; 35; 40; 45; 40X; 40XH; 45XMA; 09Г2С; 20ХНЗА; 20Х2Н4А; 40ХМФА; 42CrMo4 [1, 2].

Для изготовления кольца на автоматизированной линии предусмотрены операции резки проката, нагрева отрезанной заготовки, прессования, при необходимости повторного нагрева, кольце-

раскатки, охлаждения. Нагретая заготовка подвергается деформированию на прессе и кольцераскатном стане, в связи с чем свойства заготовки на этих операциях должны находиться в температурном диапазоне, обеспечивающим возможность пластического деформирования заготовки на прессе и кольцераскатном стане в пределах заданных силовых параметров прессы и кольцераскатного стана [3].

Большинство изготовителей кольцевых заготовок используют однократный нагрев перед операцией прессования и производят кольцераскатку без дополнительного нагрева. При однократном нагреве сокращается производственный цикл изготовления кольца, сокращаются потери металла на окалину, достигается более стабильная структура материала.

Для определения необходимости повторного нагрева используется моделирование процесса прессования и кольцераскатки, которое позволяет прогнозировать температурное состояние заготовки в различных стадиях изготовления. Однако для принятия окончательного решения по вопросу использования повторного нагрева моделирование температурного состояния кольца недостаточно, так как даже самое современное программное обеспечение типа DEFORM, FORGE® NxT, QForm не может гарантировать полное совпадение смоделированных и фактических силовых параметров прессования и кольцераскатки, а также возможности возникновения остаточных напряжений и внутренних дефектов.

Необходимость использования повторного нагрева после прессования в настоящее время не имеет четких рекомендаций и в большинстве случаев отрабатывается экспериментальным путем. Большинство изготовителей кольцевых заготовок не используют средства автоматизации, в связи с чем при необходимости введения повторного нагрева используется оборудование первичного нагрева и не возникает особых дополнительных затрат.

При автоматизированном производстве кольцевых заготовок для повторного нагрева необходимо заранее предусматривать не только средства для нагрева, но и весь технический комплекс средств автоматизации для перемещения, загрузки-выгрузки заготовок из печей повторного нагрева, средства управления в автоматизированном режиме работы, что приводит к существенным дополнительным затратам.

В настоящее время к автоматизированным линиям для производства кольцевых заготовок, действующих в Европе, можно отнести:

- автоматизированную линию для производства заготовок подшипников поставки компании SMS Meer на предприятии Ovako (Швеция);
- автоматизированную линию для производства заготовок подшипников поставки компании

Muraro S.p.A. на Минском подшипниковом заводе (далее — ОАО «МПЗ», Беларусь);

- автоматизированную линию для производства заготовок опорных валков и гусеничных натяжителей поставки компании Muraro S.p.A. на предприятии Verko (Италия).

К частично автоматизированным линиям для производства кольцевых заготовок, действующим в Европе, можно отнести:

- линию для производства заготовок специальных подшипников поставки компании Hydromec на предприятии La Leonessa (Италия);
- линию для производства кольцевых заготовок поставки компании SMS Meer на предприятии Platestahl (Германия).

На всех вышеперечисленных предприятиях отсутствует повторный нагрев. Авторам настоящей статьи была предоставлена возможность ознакомиться с вышеперечисленными производствами кольцевых заготовок, за исключением предприятия Ovako. В процессе обсуждения со специалистами этих предприятий особенностей эксплуатации автоматизированных линий высказывалось мнение о предпочтительности варианта однократного нагрева в условиях работы автоматизированной линии.

Целесообразность использования повторного нагрева в автоматизированной линии является одним из спорных элементов технологии кольцераскатки и не имеет однозначного ответа. *Целью данной работы* является обобщение информации по применению повторного нагрева при кольцераскатке и привлечение специалистов всех уровней для участия в разработке научных основ технологии кольцераскатки применительно к автоматизированным кольцераскатным комплексам в Беларуси.

Особенности нагрева в действующих автоматизированных линиях подробно рассмотрены в работе [3]. На первом этапе оценки целесообразности использования повторного нагрева в автоматизированной линии для ОАО «БЕЛАЗ» был выполнен анализ эксплуатации действующих кольцераскатных автоматизированных линий. Существенным отличием автоматизированной кольцераскатной линии для ОАО «БЕЛАЗ» является увеличение максимальных параметров изготавливаемых колец с диаметром до 3000 мм и массой до 3000 кг, в то время как на полностью автоматизированных линиях на ОАО «МПЗ» и Ovako максимальный диаметр составляет 600 мм и 1200 мм соответственно, масса — не более 250 кг. Вторым существенным отличием автоматизированной кольцераскатной линии для ОАО «БЕЛАЗ» является производство колец из обычных, средне- и высоколегированных сталей, в то время как автоматизированные линии ОАО «МПЗ» и Ovako предусмотрены для изготовления колец преимущественно из подшипниковых сталей, что

существенно сужает диапазон технологических параметров линии. Анализ зарубежных автоматизированных кольцераскатных комплексов показал, что в автоматизированных и механизированных линиях повторный нагрев не используется (таблица 1) [5–8].

Отличием кольцераскатной линии для ОАО «БЕЛАЗ» является более широкий диапазон геометрических параметров и параметров по массе планируемых для производства кольцевых заготовок. На автоматизированной линии ОАО «МПЗ» диапазон изготавливаемых колец по наружному диаметру составляет от 220 до 600 мм — разница в 2,7 раза, на автоматизированной линии Ovaiko диапазон изготавливаемых колец по наружному диаметру составляет от 300 до 1200 мм — разница в 4 раза, на автоматизированной линии ОАО «БЕЛАЗ» диапазон изготавливаемых колец по наружному диаметру составляет от 300 до 3000 мм — разница в 10 раз.

Такая разница в диапазоне геометрических параметров и параметров по массе потребовала использования в автоматизированной линии оборудования с более широким диапазоном силовых и эксплуатационных параметров.

В автоматизированных линиях на ОАО «МПЗ», La Leonessa и Ovaiko используются прессы с неподвижным столом, что сокращает машинное время прессования и повышает температуру заготовки после прессы. Перемещение заготовок осуществляется поворотными манипуляторами, что обеспечивает меньшие температурные потери при транспортировке.

Увеличение габаритов и массы изготавливаемых колец на автоматизированной кольцераскатной линии для ОАО «БЕЛАЗ» привело к необходимости использования прессы с подвижным столом и роботизированных рельсовых манипуляторов, что увеличивает температурные потери и снижает температуру заготовки после прессы. Приведенные в работе [3] результаты моделирования процесса нагрева, прессования и кольцераскатки имеют отношение к производству колец в автоматизированных линиях, близких по параметрам на ОАО «МПЗ», La Leonessa и Ovaiko с массой колец до 600 кг. С увеличением массы изготавливаемых колец на автоматизированной кольцераскатной линии для ОАО «БЕЛАЗ» до 2500 кг возникла необходимость более углубленного обоснования повторного нагрева.

Таблица 1 — Использование повторного нагрева в автоматизированных линиях для производства кольцевых заготовок
Table 1 — Use of reheating in automated lines for ring blanks production

Параметры колец	ОАО «БЕЛАЗ» (Беларусь) проект	ОАО «МПЗ» (Беларусь)	Berko (Италия)	La Leonessa (Италия)	Platestahl (Германия)	Ovaiko (Швеция)
Назначение кольцевых заготовок	подшипники, кольца, фланцы	подшипники	ролики	подшипники, зубчатые колеса	кольца	подшипники
Наружный диаметр, мм	300–3000	220–600		320–2200	200–2000	300–1200
Высота, мм	30–650	20–250		30–160	30–500	100–350
Максимальная масса, кг	3000	220		350	350 (525)	55–250
Нагрев заготовок	Печь с вращающимся подом Камерная печь	Индукцион- ный нагрев	Индукцион- ный нагрев	Печь с вращающимся подом	Печь с вращающимся подом	Печь с вращающимся подом
Механизация	Автоматизиро- ванная линия	Автоматизиро- ванная линия	Автоматизиро- ванная линия	Манипуляторы загрузка- выгрузка печи, пресса, кольцераскатного стана	Манипуляторы загрузка- выгрузка печи, пресса, кольцераскатного стана	Автоматизиро- ванная линия
Пресс	Danieli	Muraro S.p.A.	Muraro S.p.A.	Hydromec	SMS Meer	SMS Meer
	3-позиционный с подвижным столом	3-позиционный с неподвиж- ным столом		2-позиционный с неподвижным столом	3-позиционный с неподвижным столом	3-позиционный с неподвижным столом
Повторный нагрев	предусмотрен	не применяется	не применяется	не применяется	не применяется	не применяется
Кольцераскатный стан	Danieli	Muraro S.p.A.	SMS Meer модернизация Muraro S.p.A.	Hydromec	SMS Meer	SMS Meer

В результате моделирования для обоснования повторного нагрева были выделены три принципиально отличающиеся технологии изготовления колец:

- с получением прессовой непрофильной заготовки в открытом штампе;
- с получением прессовой профильной заготовки в закрытом штампе;
- с получением прессовой профильной заготовки в штампе с обратным выдавливанием.

При использовании вышеприведенной классификации прессовых заготовок под кольцераскатку важнейшим фактором для обоснования повторного нагрева становится не масса и габариты заготовки, а принятая технология изготовления кольцевых заготовок. В свою очередь, технология изготовления кольцевых заготовок зависит от силовых возможностей прессового и кольцераскатного оборудования, массовости производства, требований к конфигурации и точности кольцевых заготовок, припусков, марок сталей.

Технология кольцераскатки с получением прессовой непрофильной заготовки в открытом штампе широко используется при изготовлении непрофильных колец и является самой экономичной технологией. Повторный нагрев при этой технологии практически не применяется.

В первую очередь это объясняется тем, что данная технология не используется при изготовлении высокоточных колец из высоколегированных и специальных сталей с минимальными припусками и максимальным приближением к окончательной форме детали.

Основные операции технологии кольцераскатки с получением прессовой непрофильной заготовки в открытом штампе представлены в таблице 2.

Для колец с прямоугольным профилем сечения (непрофильные кольца) с изготовлением заготовки в открытом штампе температурное состояние кольца после пресса до и после кольцераскатки в зависимости от массы кольца представлено на рисунке.


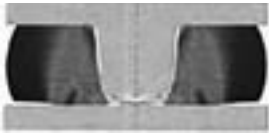
Для кольцевых заготовок с массой до 3000 кг для оценки температурного состояния кольца до и после кольцераскатки при изготовлении прессовой непрофильной заготовки в открытом штампе на 3-позиционном прессе можно воспользоваться зависимостями:

- до кольцераскатки $T = 668G^{0,0683}$;
 - после кольцераскатки $T = 826G^{0,0425}$,
- где T — температура, °C; G — масса, кг.

Окончательное решение о необходимости дополнительного нагрева принимается по результатам оценки температурного состояния заготовки

Таблица 2 — Технология кольцераскатки с изготовлением прессовой непрофильной заготовки в открытом штампе на 3-позиционном прессе

Table 2 — Ring rolling technology with the production of a pressed non-profile blank in an open die on a three-position press

Технологические операции	Эскиз кольца	Оценка температурного состояния
Параметры готового кольца: наружный диаметр $D = 2811$ мм; внутренний диаметр $d = 2453$ мм; высота $h = 159$ мм; масса 1772 кг		—
Нагрев в камерной печи заготовки: диаметр 600 мм; высота 843 мм; масса 1871 кг		Начальная температура 1250 °C
Осадка до высоты 325 мм на первой позиции прессы		Температура в интервале от 1250 °C (в середине заготовки) до 1160 °C (у торцов)
Прошивка отверстия диаметром 280 мм на второй позиции прессы и вырубка выдры высотой 42 мм на третьей позиции прессы		Температура в интервале от 1250 °C (в середине заготовки) до 1150 °C (у торцов)
Кольцераскатка в течение 324 с до окончательных размеров кольца		Температура в середине заготовки в интервале от 1200 до 1150 °C (в начале кольцераскатки) и в середине заготовки в интервале от 1100 до 1025 °C (в конце кольцераскатки)

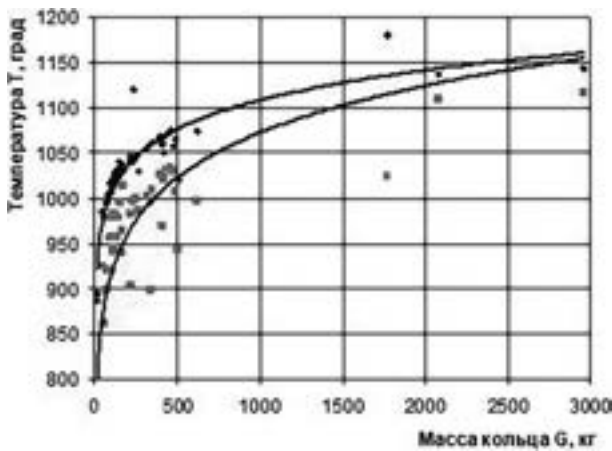


Рисунок — Температурное состояние кольца до и после кольцераскатки при изготовлении прессовой непрофильной заготовки в открытом штампе на 3-позиционном прессе
 Figure — Ring temperature state before and after the ring rolling during the manufacture of a pressed non-profile blank in an open die on a three-position press

до и после кольцераскатки в зависимости от массы заготовки температуры окончания интенсивного пластического деформирования для выбранной марки стали кольца [4].

Технология кольцераскатки с получением прессовой профильной заготовки в закрытом штампе используется для получения окончательного кольца с несложным профильным сечением, для чего применяются возможности штамповки в закрытом штампе также с несложным профилем. Профиль заготовки после прессовой обработки создается таким, чтобы обеспечить минимальное перемещение материала в осевом направлении. Основные операции технологии кольцераскатки с получением прессовой профильной заготовки в закрытом штампе представлены в таблице 3. В этом примере рассматривается относительно простая профильная заготовка с профилем только на наружном диаметре.

Представленный вариант технологии кольцераскатки с изготовлением прессовой профильной заготовки в закрытом штампе на 3-позиционном прессе не требует применения дополнительного нагрева после прессования, так как основанная масса прессовой заготовки имеет достаточно высокую температуру 1100 °С. В процессе кольцераскатки происходит уменьшение толщины стенки с интенсивным уменьшением температуры,

Таблица 3 — Технология кольцераскатки с изготовлением прессовой профильной заготовки в закрытом штампе на 3-позиционном прессе
 Table 3 — Ring rolling technology with the production of a pressed profile blank in a closed die on a three-position press

Технологические операции	Эскиз кольца	Оценка температурного состояния
Параметры готового кольца: наружный диаметр 1306 мм; внутренний диаметр 1216 мм; толщина стенки 45 мм; высота 251 мм; масса 335 кг		—
Нагрев в камерной печи заготовки диаметр 320 мм; высота 843 мм; масса 345 кг		Начальная температура 1250 °С
Осадка до высоты 325 мм на первой позиции прессы		Температура в интервале от 1220 °С (в середине заготовки) до 1100 °С (у торцов)
Прошивка отверстия диаметром 180 мм на второй позиции прессы и вырубка выдры высотой 30 мм на третьей позиции прессы		Температура в интервале от 1200 °С (в середине заготовки) до 1050 °С (у торцов)
Кольцераскатка в течение 110 с до окончательных размеров кольца		Температура в середине заготовки в интервале от 1200 до 1100 °С (в начале кольцераскатки) и в середине заготовки в интервале от 1050 до 945 °С (в конце кольцераскатки)

однако в конце кольцераскатки температура кольца при достижении окончательной толщины стенки 45 мм остается порядка 945 °С и достаточной для пластического деформирования большинства конструкционных сталей. В случае использования специальных и высоколегированных сталей окончательное решение о необходимости дополнительного нагрева принимается в зависимости от температуры окончания интенсивного пластического деформирования для выбранной марки стали кольца [4, 9–10].

Технология кольцераскатки с получением прессовой профильной заготовки в закрытом штампе с обратным выдавливанием применяется для получения окончательного кольца со сложным профильным сечением, минимальными толщинами стенок h с отношением толщины стенки к наружному диаметру D в пределах



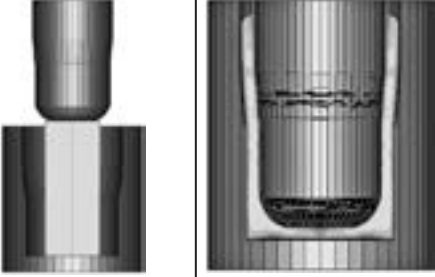
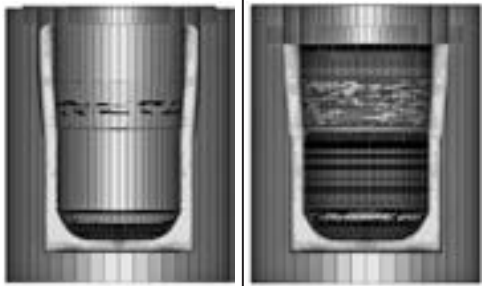
$h / D = 0,011 \dots 0,016$ и для относительно высоких колец с отношением толщины стенки к высоте кольца L в пределах $h / L = 0,020 \dots 0,041$.

Основные операции технологии кольцераскатки с получением прессовой профильной заготовки в закрытом штампе с обратным выдавливанием представлены в таблице 4.

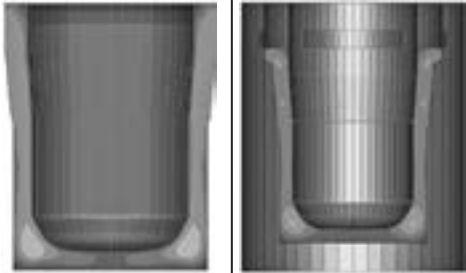
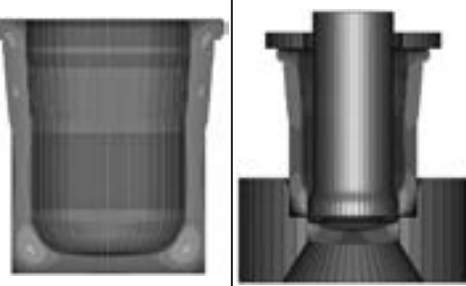

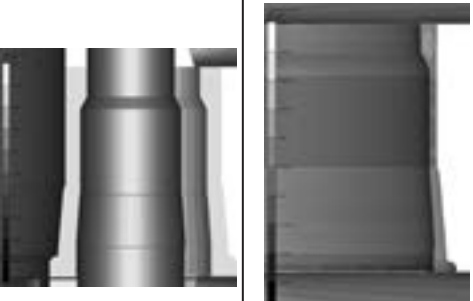
Представленный вариант технологии кольцераскатки с изготовлением прессовой профильной заготовки в закрытом штампе с обратным выдавливанием требует применения дополнительного нагрева после прессования, так как для достижения окончательной толщины стенки 16 мм в прессовой заготовке требуется обеспечить толщину стенки 46,5 мм, что приводит к интенсивному снижению температуры до 925 °С, что недостаточно для последующей кольцераскатки. В результате можно сделать вывод о необходи-

Таблица 4 — Технология кольцераскатки с изготовлением прессовой профильной заготовки в закрытом штампе с обратным выдавливанием

Table 4 — Ring rolling technology with the production of a pressed profile blank in a closed die with reverse extrusion

Технологические операции	Эскиз кольца	Оценка температурного состояния
Параметры готового кольца: наружный диаметр в среднем сечении 1198 мм; внутренний диаметр в среднем сечении 1166 мм; толщина стенки в среднем сечении 16 мм; высота 605 мм; масса 421 кг		
Нагрев в камерной печи заготовки диаметром 350 мм; высотой 663 мм; массой 497 кг		Начальная температура 1250 °С
Пресс 1-я позиция 1-я фаза, осадка с обратным выдавливанием, толщина стенки 46,5 мм		Средняя температура в конце 1-й фазы штамповки 1000 °С. Максимальная температура самой горячей точки 1222 °С
Пресс 1-я позиция 2-я фаза, осадка верхнего торца		Средняя температура в начале 2-й фазы штамповки 984 °С. Средняя температура в конце 2-й фазы штамповки 954 °С. Максимальная температура самой горячей точки 1219 °С

Продолжение таблицы 4
Table 4 continued

Технологические операции	Эскиз кольца		Оценка температурного состояния
Пресс 2-я позиция, формирование верхнего бурта			Средняя температура в начале 2-й позиции штамповки 1023 °С. Средняя температура в конце 2-й фазы штамповки 1023 °С. Максимальная температура самой горячей точки 1162 °С
Пресс 3-я позиция, вырубка выдры диаметром 361 мм			Средняя температура в начале 3-й позиции штамповки 975 °С. Средняя температура в конце 3-й фазы штамповки 975 °С. Максимальная температура самой горячей точки 1098 °С
Перед повторным нагревом параметры прессовой заготовки: наружный диаметр в среднем сечении 498 мм; внутренний диаметр в среднем сечении 405 мм; толщина стенки в среднем сечении 46,5 мм; высота 672 мм			Средняя температура в начале перемещения в печь 925 °С. Максимальная температура самой горячей точки 1019 °С
Повторный нагрев в камерной печи с последующей очисткой от окалины			Начальная температура 1250 °С
Кольцеракатка с машинным временем 116 с			Температура в начале кольцеракатки 1200 °С. Температура в конце кольцеракатки 985 °С

мости использования повторного нагрева для получения окончательного кольца со сложным профильным сечением, минимальными толщинами стенок h с отношением толщины стенки к наружному диаметру D в пределах $h / D = 0,011 \dots 0,016$ и для относительно высоких колец с отношением толщины стенки к высоте кольца L в пределах $h / L = 0,020 \dots 0,041$.

Выводы. 1. Для оценки целесообразности повторного нагрева при производстве кольцевых заготовок предложена классификация технологии изготовления колец:

- с получением прессовой непрофильной заготовки в открытом штампе;
- с получением прессовой профильной заготовки в закрытом штампе;
- с получением прессовой профильной заготовки в штампе с обратным выдавливанием.

2. Технология кольцеракатки с получением прессовой непрофильной заготовки в открытом штампе является самой экономичной и не требует использования повторного нагрева при изготовлении колец из среднелегированных сталей.

3. Технология кольцераскатки с получением прессовой профильной заготовки в закрытом штампе не требует применения дополнительного нагрева после прессования при изготовлении колец с упрощенным профилем или на наружном, или на внутреннем диаметре кольца. При изготовлении колец с более сложным профилем на наружном и внутреннем диаметрах кольца, а также колец из высоколегированных сталей окончательное решение о необходимости дополнительного нагрева принимается в зависимости от температуры окончания интенсивного пластического деформирования для выбранной марки стали кольца.

4. Технология кольцераскатки с получением прессовой профильной заготовки в штампе с обратным выдавливанием требует использования повторного нагрева после операции прессования перед операцией кольцераскатки и рекомендуется для изготовления колец из средне- и высоколегированных сталей со сложным профильным сечением на наружном и внутреннем диаметрах, толщинами стенок h с отношением толщины стенки к наружному диаметру D в пределах $h / D = 0,011 \dots 0,016$ и с отношением толщины стенки к высоте кольца L в пределах $h / L = 0,020 \dots 0,041$.

Список литературы

1. Пархомчик, П.А. Особенности кольцераскатки в условиях мелкосерийного производства профильных колец / П.А. Пархомчик, В.В. Рудый, В.Е. Антонюк // Литье и металлургия. — 2013. — № 3(71). — С. 92–98.
2. Особенности использования кольцераскатного комплекса в производстве деталей ОАО «БелАЗ» / В.Е. Антонюк [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2012. — Вып. 1. — С. 354–357.
3. Кольцераскатка в производстве деталей машиностроения / В.Е. Антонюк [и др.]. — Минск: Беларус. навука, 2013. — 188 с.
4. Ковка и штамповка: справ. / под ред. Е.И. Семенова. — М.: Машиностроение, 1985. — Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка. — 568 с.
5. Ovako: Weltgrößte Ringwalzanlage mit Industrierobotern in Einsatz [Electronic resource]. — Mode of access: <https://www.pressebox.de/inaktiv/sms-siemag-ag/SMS-Meer-Ringwalzanlage-bei-Ovako-Tube-Ring-erfolgreich-in-Betrieb-genommen/boxid/400959/>. — Date of access: 22.04.2021.
6. Kluge, A. Glühende Ringe – Das Ringwalzen als wichtiges Verfahren der Massivumformung / A. Kluge, H. Faber // MM Industrie Magazin. — 2005. — S. 26–31.
7. Особенности использования кольцераскатного комплекса в производстве деталей ОАО «БелАЗ» / П.А. Пархомчик [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: А.А. Дюжев [и др.]. — 2012. — Вып. 1. — С. 354–357.
8. Антонюк, В.Е. Кольцераскатка в условиях автоматизированного производства / В.Е. Антонюк, П.А. Пархомчик, В.В. Рудый. — Минск: Беларус. навука, 2021. — 245 с.
9. Гуляев, А.П. Металловедение: учеб. для вузов / А.П. Гуляев, А.А. Гуляев. — 7-е изд. — М.: Альянс, 2011. — 643 с.
10. Материаловедение: учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов [и др.]; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 648 с.

ANTONYUK Vladimir E., D. Sc. in Eng.

Chief Researcher of the Laboratory of Metallurgy in Mechanical Engineering¹
E-mail: vladi@tut.by

NIKIFOROVICH Sergey O.

Director General²

RUDII Victor V., Ph. D. in Eng.

Chief Technologist²
E-mail: rvw@belaz.minsk.by

¹Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

²OJSC “BELAZ” — Management Company of Holding “BELAZ-HOLDING”, Zhodino, Republic of Belarus

Received 24 May 2021.

RATIONAL FOR REHEATING IN THE AUTOMATED LINE FOR RING BLANKS PRODUCTION

Features and requirements to the use of reheating of ring blanks in the conditions of production on the automated line are considered. An assessment is given for a technological temperature state of ring blanks at various stages of production under conditions of the automated line. For assessment of rational for reheating at production of ring blanks, a classification of ring manufacturing technology is proposed with the production of a pressed non-core blank in an open die, with the production of a pressed profile blank in a closed die, with the production of a pressed profile blank in a stamp with reverse extrusion. The technology of ring rolling with the production of a pressed non-core blank in an open die is the most economical and does not require the use of reheating in the manufacture of rings made of medium-alloy steels. The technology of ring rolling of a profile blank obtained in a closed die does not require the use of

additional heating after pressing, in the case of manufacturing rings with a simplified profile on the outer or inner diameters of the ring. In the manufacture of rings with a more complex profile on the outer and inner diameters of the ring, as well as rings made of high-alloy steels, the final decision on the need for additional heating is made depending on the temperature of the end of intensive plastic deformation for the selected steel grade of the ring. The technology of ring rolling with the production of a pressed profile blank in a die with reverse extrusion requires the use of reheating after the pressing operation before the ring rolling operation, and is recommended for the manufacture of rings from medium- and high-alloy steels with a complex profile section on the outer and inner diameters, wall thicknesses h , with a ratio of wall thickness to outer diameter D within $h / D = 0.011...0.016$ and with a ratio of wall thickness to ring height L within $h / L = 0.020...0.041$. The proposed recommendations are intended for use in the development of technological support for the operation of the automated ring-rolling complex at OJSC "BELAZ".

Keywords: ring blank, heating, press forming, rolling, modeling, plastic deformation

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2021-3-56-61-69>

References

1. Parkhomchik P.A., Rudii V.V., Antonyuk V.E. Osobennosti koltseraskatki v usloviyakh melkoseriyynogo proizvodstva profilnykh kolets [Features of ring rolling in the conditions of small-lot production of profile rings.]. *Foundry production and metallurgy*, 2013, no. 3(71), pp. 92–98 (in Russ.).
2. Parkhomchik P.A., Rudii V.V., Antonyuk V.E., Shipko A.A. Osobennosti ispolzovaniya koltseraskatnogo kompleksa v proizvodstve detaley OAO "BelAZ" [Features of the ring-rolling complex use in the production of parts of OJSC "BELAZ"]. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2012, iss. 1, pp. 354–357 (in Russ.).
3. Antonyuk V.E., Vityaz P.A., Parkhomchik P.A., Rudii V.V., Shipko A.A. *Koltseraskatka v proizvodstve detaley mashinostroeniya* [Ring rolling in the production of mechanical engineering parts]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2013. 188 p. (in Russ.).
4. *Kovka i shtampovka. T. 1. Materialy i nagrev. Oborudovanie. Kovka* [Forging and stamping. Vol. 1. Materials and heating. Equipment. Forging]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 568 p. (in Russ.).
5. *SMS Meer-Ringwalzanlage bei Ovako Tube & Ring erfolgreich in Betrieb genommen*. Available at: <https://www.pressebox.de/inaktiv/sms-siemag-ag/SMS-Meer-Ringwalzanlage-bei-Ovako-Tube-Ring-erfolgreich-in-Betrieb-genommen/boxid/400959/> (accessed 22 April 2021).
6. Kluge A., Faber H. Glühende Ringe – Das Ringwalzen als wichtiges Verfahren der Massivumformung. *MM Industrie Magazin*, 2005, pp. 26–31.
7. Parkhomchik P.A., Rudii V.V., Antonyuk V.E., Shipko A.A. Osobennosti ispolzovaniya koltseraskatnogo kompleksa v proizvodstve detaley [Use pattern of annular collars rolling complex in details manufacture of "BELAZ" Ltd]. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2012, iss. 1, pp. 354–357 (in Russ.).
8. Antonyuk V.E., Parkhomchik P.A., Rudii V.V. *Koltseraskatka v usloviyakh avtomatizirovannogo proizvodstva* [Ring rolling in the conditions of automated production]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2021. 245 p. (in Russ.).
9. Gulyaev A.P., Gulyaev A.A. *Metallovedenie* [Metal science]. Moscow, Alyans Publ., 2011. 643 p. (in Russ.).
10. Arzamasov B.N., et al. *Materialovedenie* [Materials science]. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet im. N.E. Bauman Publ., 2008. 648 p. (in Russ.).