



КОЛЬЦЕРАСКАТКА В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ



Кольцеракатка в производстве деталей машиностроения / В. Е. Антонюк [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 188 с. – ISBN 978-985-08-1544-6.

В книге дается информация о процессе кольцеракатки и возможностях использования ее при изготовлении кольцевых заготовок для деталей типа коронных зубчатых колес, колец подшипников, колесных дисков. Приводится информация о зарубежных фирмах, которые изготавливают и поставляют оборудование для кольцеракатки. Имеются сведения о состоянии разработки и использования кольцеракатки за рубежом и намечены пути ее использования для белорусских предприятий. Показатели экономии металла, снижения энергозатрат и уход от импорта заготовок входят в перечень приоритетных направлений работ для белорусских машиностроителей.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников машиностроения, а также для преподавателей, аспирантов и студентов машиностроительных специальностей.

Табл. 76. Ил. 170. Библиогр.: 95 назв.

А в т о р ы:

В. Е. Антонюк, П. А. Витязь, П. А. Пархомчик, В. В. Рудый, А. А. Шипко

Р е ц е н з е н т ы:

доктор технических наук, профессор К. Е. Беявин,
доктор технических наук В. А. Томило

ВВЕДЕНИЕ

Беларусь – страна высокоразвитого машиностроения, располагающего комплексами замкнутого производственного цикла от заготовительного производства до сборки и покраски. Его поступательное развитие диктует необходимость повышения производительности и энергоэффективности технологического оборудования, в частности, на стадиях получения заготовок деталей машин. При этом важно повысить коэффициент использования металла. Этим требованиям отвечают современные технологии кольцераскатки.

Производство заготовок бесшовных колец является одним из старейших кузнечных производств и востребовано при изготовлении большой номенклатуры деталей автомобилестроения, железнодорожного подвижного состава, авиационной и космической промышленности, подшипников, техники для энергетики, ветросиловых установок и нефтехимической промышленности.

Для изготовления колец применяются различные марки высоколегированных сталей, диаметры колец составляют от десятков миллиметров до десятков метров, вес достигает десятков тонн. Программы выпуска колец могут составлять сотни тысяч для подшипников и несколько штук для специфических машин. В связи с такими требованиями оборудование для производства колец должно обладать высокой гибкостью и универсальностью. Немаловажную роль при производстве колец имеет стоимость энергозатрат и значение коэффициента использования материала. Необходимо также учитывать изменение свойств материала при изготовлении кольца, так как правильно выбранные режимы деформирования кольца обычно повышают прочность и долговечность детали, при неправильно выбранных режимах ухудшается структура материала, нарушается расположение волокон, что обязательно приводит к ухудшению физико-механических свойств детали.

В последние годы техника для изготовления колец оснащается современными системами адаптивного управления и системами числового программированного управления, которые позволяют непрерывно контролировать и корректировать процесс кольцераскатки с учетом свойств каждого конкретного кольца. В результате достигается высокая окончательная точность кольца и улучшаются физико-механические свойства материала. Использование

современных возможностей кольцераскатки позволяет целенаправленно и гарантированно обеспечивать повышенные прочностные показатели деталей, имеющих форму колец.

Отечественное машиностроение пока недостаточно использует современные технологии и оборудование для кольцераскатки, хотя в Беларуси изготавливается достаточно большое количество деталей, имеющих форму колец, гильз и дисков. Это подшипники на Минском подшипниковом заводе, коронные шестерни планетарных передач на Минском тракторном, Минском автомобильном, Белорусском автомобильном заводах и Минском заводе колесных тягачей, специальные подшипники на Белорусском автомобильном заводе. Общее количество изготавливаемых деталей, имеющих форму кольца, только на этих заводах составляет свыше 100 наименований при годовой программе около 160 000. Для изготовления этих колец используется ежегодно около 12 000 т высоколегированных сталей. Коэффициент использования металла составляет около 0,6 и при изготовлении этих колец образуется свыше 4000 т стружки. К настоящему времени Белорусский автомобильный и Минский подшипниковый заводы пришли к выводу о необходимости использования современного кольцераскатного оборудования для изготовления заготовок подшипников, шестерен, колесных дисков и т. п.

Проведенный анализ отечественных и зарубежных источников по методам получения кольцевых заготовок показывает, что для решения этой проблемы необходима не только закупка современного оборудования, но и разработка научных основ технологии кольцераскатки применительно к конструкциям и техническим требованиям деталей типа колец белорусского машиностроения.

Зарубежное машиностроение для изготовления кольцевых заготовок успешно использует кольцераскатные комплексы с ЧПУ, которые обеспечивают высокую и стабильную точность, минимальные припуски под последующую обработку, легко перенастраиваются на изготовление различных типов колец, учитывают свойства материала колец и с помощью программного обеспечения корректируют режимы раскатки. Полученные таким образом заготовки колец не имеют дефектов, брак при последующей обработке исключается. Детали, полученные из кольцераскатных заготовок, как правило, имеют повышенные механические свойства.

Кольцераскатке могут подвергаться большинство сталей (углеродистые, аустенитные, жаропрочные, низко- и высоколегированные), титановые и алюминиевые сплавы, цветные металлы. Способы получения заготовок для кольцераскатки могут быть различными (отливки, штамповки, прокат).

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОЛЬЦЕРАСКАТКИ

1.1. Область использования кольцераскатки

Объем производства заготовок бесшовных колец достигает 16 % от общего объема производства кузнечных заготовок. Заготовок колец только в Германии было произведено свыше 2 млн т [1]. На рис. 1.1 представлена структура использования технологий кольцераскатки в различных областях производства. Как видно из этого рисунка, наибольшим потребителем продукции кольцераскатки является транспортное машиностроение.

Ассортимент изготавливаемых колец непрерывно расширяется как по геометрическим параметрам, так и по применяемым материалам. Это требует разработки новых подходов к моделированию процесса кольцераскатки. Оптимизация процесса кольцераскатки является важнейшим условием для поддержания эффективности процесса кольцераскатки по сравнению с другими методами получения кольцевых деталей. Результатом оптимизации процесса кольцераскатки является достижение конечной формы кольца при минимальных затратах на энергоресурсы и максимальном коэффициенте использования материала.



Рис. 1.1. Структура использования технологий кольцераскатки в отраслях машиностроения

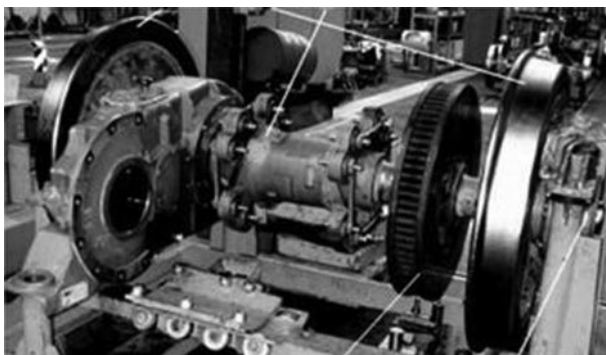


Рис. 1.2. Приводная железнодорожная тележка

Радиальная кольцераскатка известна с 1889 года [2]. Использование кольцераскатки в первую очередь было связано с производством железнодорожных колес [3]. На рис. 1.2 представлена приводная железнодорожная тележка, в которой используются детали, изготовленные кольцераскаткой.

С использованием кольцераскатки изготавливается ряд деталей авиационных двигателей (рис. 1.3) [4].

Начиная с 1970 года процессы и машины для кольцераскатки применяют системы ЧПУ, что положило начало созданию принципиально нового типа кольцераскатных машин [5]. Одновременно проводится ряд исследований процесса кольцераскатки, что послужило развитием и созданием систем управления процессом кольцераскатки на основе современной компьютерной техники [6–10].

К типовой продукции кольцераскатки и близкой к ней колесопрокатки относятся кольца подшипников качения, фланцы, в том числе специальные фланцы для ветровых установок, бандаж, зубчатые колеса, детали сосудов, работающих при высоком давлении, в том числе для атомных электростанций, диски железнодорожных колес и т. д.

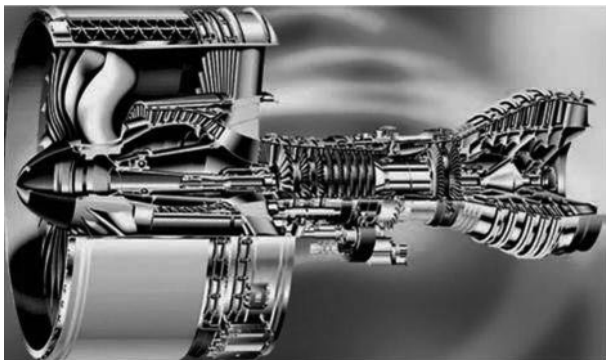


Рис. 1.3. Авиационный двигатель

В связи с высокой гибкостью технологического оборудования для кольцераскатки и обеспечением высочайших требований по прочности и точности получаемых изделий кольцераскатка широко используется в подшипниковой промышленности, авиа- и космической промышленности, в нефтяной, газовой и химической промышленности, авто- и тракторостроении, производствах энергетических установок.

1.2. Процессы пластического деформирования

В основе процесса кольцераскатки лежит пластическое деформирование и при разработке технологий кольцераскатки используются основные положения пластического деформирования материалов [11–17]. Так как процесс кольцераскатки относится к области прокатки, то свойства заготовок для процесса кольцераскатки должны удовлетворять требованиям процесса прокатки – обладать требуемой температурной пластичностью, температурной прочностью и т. д.

Помимо возможности изготовления деталей сложной формы, пластическое деформирование позволяет с высокой точностью и высокими механическими свойствами создавать ответственные детали машиностроения. Процесс пластического деформирования начинается с теплового преобразования свойств материала, для чего используются различные виды нагрева и соответственно оборудования. Пластическое деформирование нагретого материала осуществляется на различных типах кузнечно-прессового оборудования, но обязательным условием выполнения этой операции является соблюдение условий течения материала без образования трещин и внутренних напряжений. При правильном выборе схемы течения материала и соотношения усилий деформирования и пластичности можно достичь существенного улучшения структуры материала и механических свойств изготавливаемой детали. Наиболее перспективными процессами пластического деформирования являются процессы с многократным нагружением, к которым относится радиальная и радиально-осевая кольцераскатка. При осуществлении кольцераскатки деформирование и течение материала аналогично процессу прокатки.

Основные положения теории пластического деформирования при прокатке были разработаны в начале XX века. При расчете течения материала при кольцераскатке используются основные положения теории пластического деформирования материала: система дифференциальных уравнений, трехмерная система равновесия сил, критерий текучести, отношения главных напряжений.

При кольцераскатке происходят процессы, которые можно описать также на основе гидродинамической теории прокатки для получения картины распределения давления и скорости течения материала в зоне деформирования кольца. На рис. 1.4 представлена схема распределения скоростей деформирования при прокатке слябов, однако пока в общем виде пока не найдено анали-

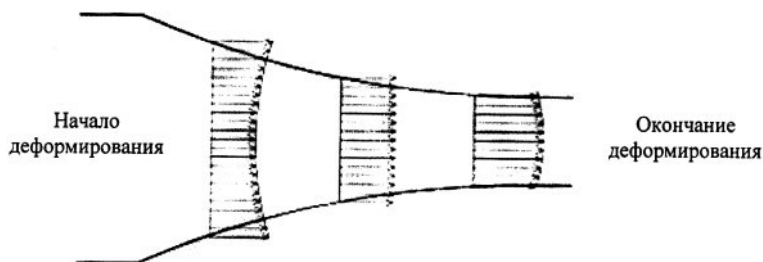


Рис. 1.4. Распределение скорости деформирования при прокатке слывов

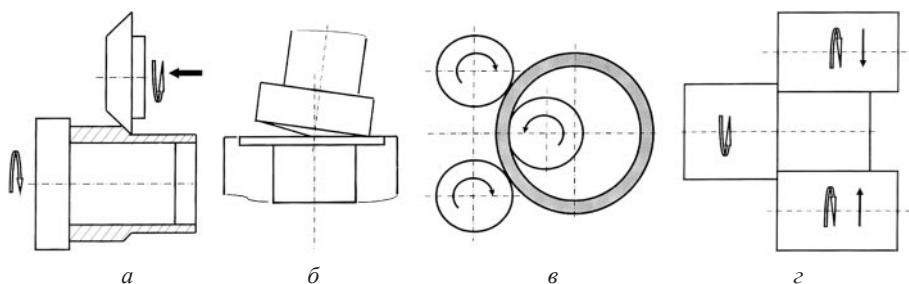


Рис. 1.5. Развитие схем пластического деформирования с сокращением зоны деформирования: *а* – обкатка роликом; *б* – сферодвижущая раскатка; *в* – кольцеракатка; *г* – радиально-осевая прокатка валов

тического решения этой задачи. Вместе с тем для практического использования получены достаточно хорошо аппроксимируемые зависимости [16].

Особенностью современных процессов пластического деформирования является создание кинематически сложных систем и схем деформирования деталей с целью сокращения зоны деформирования и соответственно снижения усилий деформирования (рис. 1.5) [15].

Результатом создания таких схем является многократное приложение нагрузок, вследствие чего снижаются усилия для установок пластического деформирования и затраты на изготовление деталей с использованием пластического деформирования.

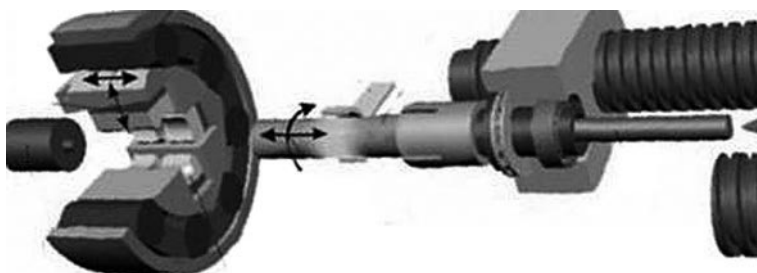


Рис. 1.6. Радиально-осевая прокатка валов

К таким процессам относятся радиальная и радиально-осевая прокатка валов (рис. 1.6) и кольцераскатка, при использовании которых можно реализовать преимущества пластического деформирования с сокращением зоны деформирования и достичь экономии материала около 20% по сравнению с обычными процессами получения заготовок валов и колец [15].

1.3. Схемы кольцераскатки

Процесс кольцераскатки заключается в деформировании кольца гладкими или профилированными валками с последовательным изменением наружного и внутреннего диаметров и высоты кольца.

Деформирование кольца валками только в радиальном направлении называется радиальной кольцераскаткой (рис. 1.7), деформирование одновременно в радиальном и осевом направлениях называется радиально-осевой кольцераскаткой (рис. 1.8).

Неподвижно закрепленный главный валок вращается с постоянным числом оборотов, в то время как дорновой валок имеет привод вращения с регулируемой частотой вращения. Диаметр дорнового валка всегда меньше диаметра главного валка и делается по возможности минимальным для сокращения затрат на получение предварительного отверстия на заготовке под кольцераскатку. Частота вращения конических осевых валков также является регулируемой.

Кроме главного, дорнового и конических валков для реализации кольцераскатки используются центрирующие устройства, системы приводов и подачи, рабочая схема радиально-осевой кольцераскатки представлена на рис. 1.9 [2].

Технология изготовления раскатанных бесшовных колец включает операции (рис. 1.10) – резка заготовок, нагрев, осадка, наметка отверстия, прошивка отверстия, кольцераскатка [2].

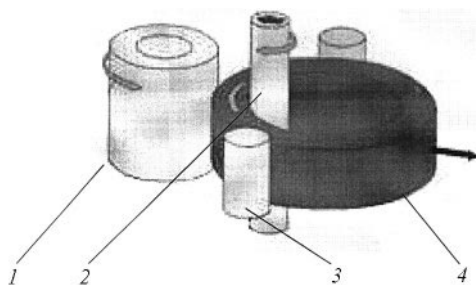


Рис. 1.7. Радиальная кольцераскатка: 1 – главный валок; 2 – дорновой валок; 3 – центрирующий валок; 4 – кольцо

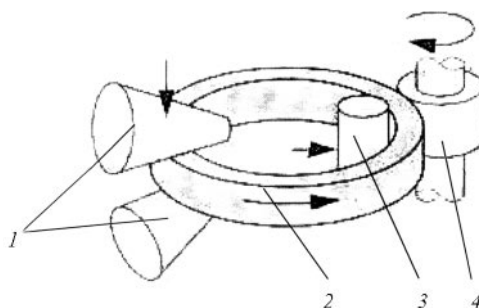


Рис. 1.8. Радиально-осевая кольцераскатка: 1 – осевые валки; 2 – кольцо; 3 – дорновой валок; 4 – главный валок

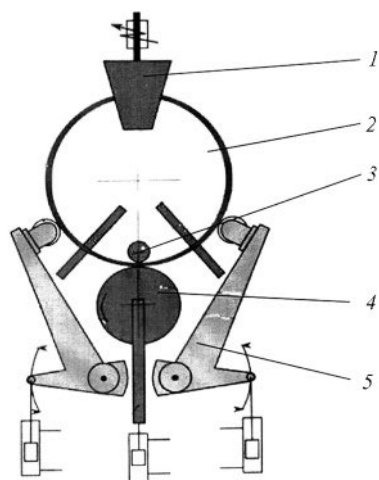


Рис. 1.9. Рабочая схема радиально-осевой раскатки: 1 – осевые валки; 2 – кольцо; 3 – дорновой валок; 4 – главный валок; 5 – центрирующее устройство

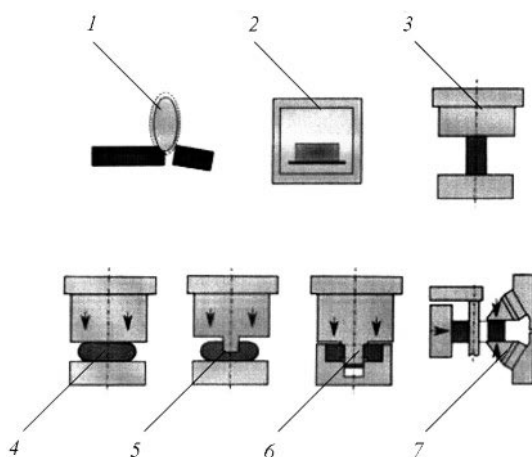


Рис. 1.10. Технологический процесс изготовления раскатных колец: 1 – резка заготовок; 2 – нагрев; 3 – подача на пресс; 4 – осадка; 5 – наметка отверстия; 6 – прошивка отверстия; 7 – кольцераскатка

В процессе кольцераскатки происходит непрерывное изменение параметров кольца, в табл. 1.1 схематично представлены основные этапы изменения размеров кольца.

Таблица 1.1. Изменение параметров кольца в процессе радиально-осевой раскатки

Этапы процесса кольцераскатки	Схема
Начало кольцераскатки	
Процесс кольцераскатки с одновременным деформированием кольца в радиальном и осевом направлениях	
Завершение процесса кольцераскатки	

1.4. Стратегия кольцераскатки

Стратегия кольцераскатки заключается в выборе оптимальных режимов, позволяющих при минимальных мощностях, затрачиваемых на деформирование кольца, достичь наилучших результатов по точности и заданной форме готового кольца.

В режимы кольцераскатки входят: радиальная подача радиального дорнового ролика; осевая подача конических роликов; частота вращения главного ролика.

Для упрощения стратегия кольцераскатки рассматривается для прямоугольного сечения кольца. Как правило, заготовка под кольцераскатку имеет форму, представленную на рис. 1.11.

При разработке схемы деформирования кольца в процессе кольцераскатки предполагается, что потеря материала в процессе незначительна и масса заготовки кольца равна массе готового кольца. Однако при окончательном расчете технико-экономических показателей кольцераскатки следует учитывать потери материала на образование окалины в зависимости от вида нагрева.

Важнейшим показателем процесса кольцераскатки в любой момент времени является соотношение высоты сечения кольца к ширине сечения, которое условно определяется как «кривая деформирования» кольца. Для управления процессом кольцераскатки для каждого конкретного кольца рассчитывается кривая деформирования и задаются расчетные параметры: радиальная подача радиального дорнового вала, осевая подача конических валков, частота вращения главного вала. С учетом возможных изменений свойств материала и режимов кольцераскатки расчетным путем определяются также возможные границы кривой деформирования. Обязательным условием управления процессом кольцераскатки является точное определение размеров кольца в любой момент времени процесса кольцераскатки.

На рис. 1.12 представлены две типовые кривые деформирования по результатам исследований фирмы WAGNER – для деталей типа гильз и для деталей типа диска, по которым исходная заготовка деформируется в окончательную форму кольца [3].

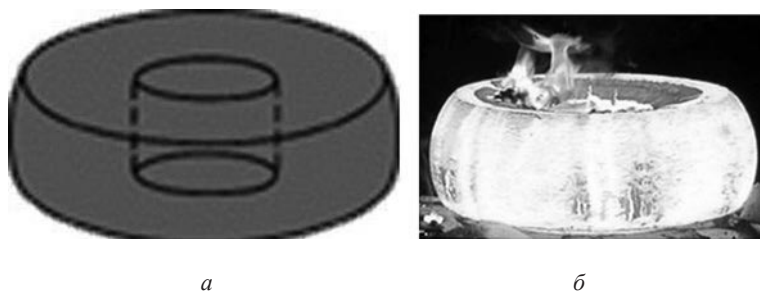


Рис. 1.11. Форма заготовки кольца под кольцераскатку: *а* – форма заготовки; *б* – нагретая заготовка

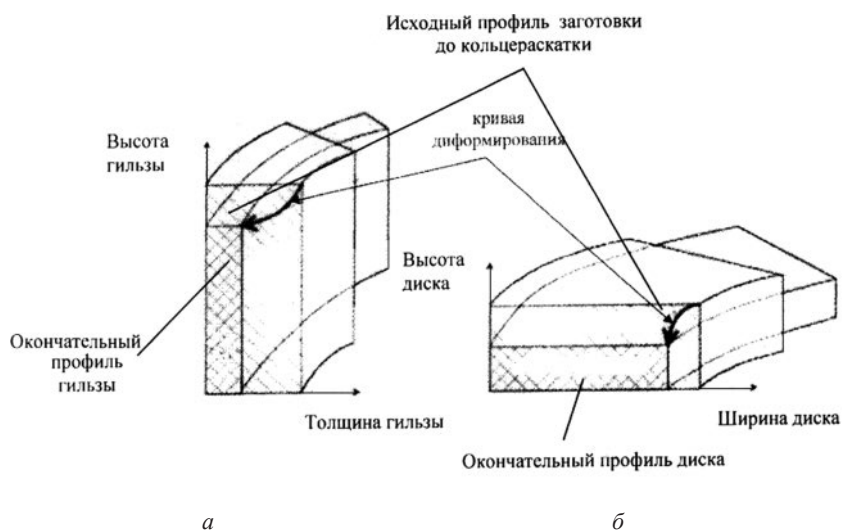


Рис. 1.12. Кривые деформирования для гильзы и диска [3]: *а* – детали типа гильзы; *б* – детали типа диска

При разработке процесса кольцеразкатки профильных колец имеются определенные трудности. Следует принимать во внимание, что при радиально-осевой кольцеразкатке происходит искажение профиля кольца по сравнению с профилем валков и для получения окончательного профиля с заданной точностью в ряде случаев требуется проведение дополнительных исследований.

Стратегия кольцеразкатки в этом случае заключается в том, что следует правильно рассчитать в зависимости от программы изготавливаемых колец затраты на получение профильного кольца и получаемую выгоду от экономии материала и сопоставить эти затраты с изготовлением кольца прямоугольного сечения с последующей мехобработкой.

В работе [4] даны варианты выбора контура кольца в зависимости от программы выпуска колец. Из рис. 1.13 видно, какой окончательный профиль кольца следует применять в зависимости от величины программы выпуска. При малых программах целесообразно получать кольцо с формой 1 прямоугольного сечения. По мере роста программы можно использовать формы 2 и 3, приближенные к форме окончательной детали. При больших программах выпуска рекомендуется использовать форму 4, максимально приближенную к окончательной форме детали.

На рис. 1.14 представлены относительные величины затрат на окончательное изготовление деталей в зависимости от использования различных форм сечения раскатанного кольца [4].

Как видно из рис. 1.14, суммарные затраты на изготовление окончательной детали находятся почти на одном и том же уровне для форм 3 и 4. Это позволяет сделать вывод о том, что не следует стремиться любой ценой при кольцеразкатке достичь приближения профиля кольца к окончательному профилю детали.

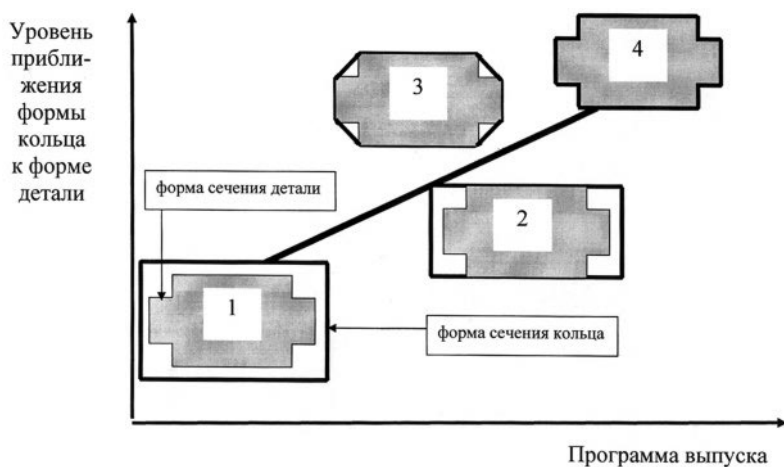


Рис. 1.13. Рекомендуемые формы сечения кольца в зависимости от программы выпуска

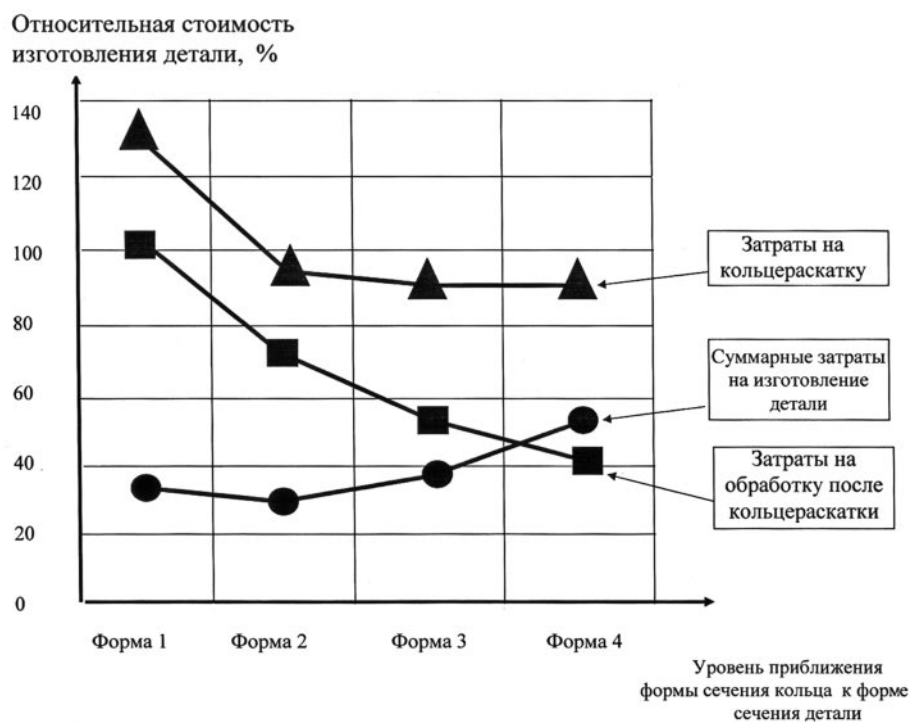


Рис. 1.14. Затраты на изготовление деталей с различными формами сечения кольца после кольцераскатки

1.5. Принципиальные особенности кольцераскатного оборудования

Общим недостатком ранее использованных технологий изготовления колец было влияние человеческого фактора в управлении процессом кольцераскатки. Известны процессы раскатки кольца на молотах и на прессах (рис. 1.15).

Для раскатки колец создавались также специальные кольцераскатные машины (рис. 1.16), однако все эти машины управлялись человеком, и от квалификации оператора зависело качество изготовленных колец.

Использование систем ЧПУ для управления процессом изготовления колец позволило принципиально изменить их технологический процесс. Современный кольцераскатный комплекс с системой ЧПУ позволяет контролировать и управлять процессом изготовления буквально каждого отдельного кольца, что в конечном итоге позволяет получать высококачественный продукт по физико-механическим свойствам при минимальных припусках под последующую обработку. Контроль за состоянием температуры кольца позволяет выполнить технологический цикл его изготовления с одного нагрева, что значительно снижает энергозатраты производства.

Существенным фактором современных технологий изготовления колец является раскатка кольца одновременно в радиальном и осевом направлениях, что позволяет улучшить физико-механические свойства и расширить диапазон их геометрических параметров. Как отмечает большинство исследователей, радиально-осевая деформация позволяет с меньшими усилиями изгото-

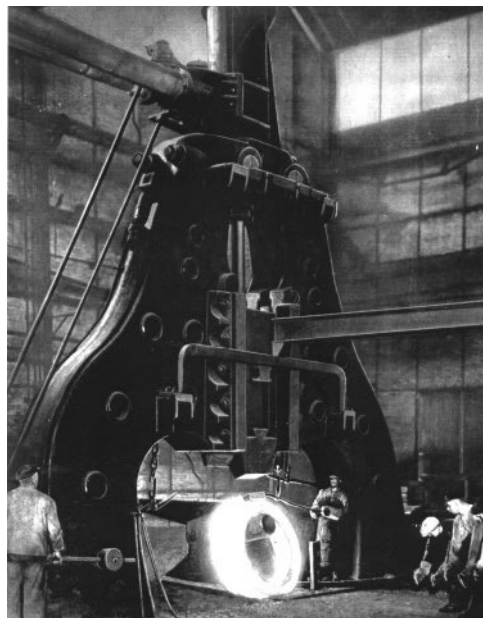


Рис. 1.15. Раскатка кольца на молоте

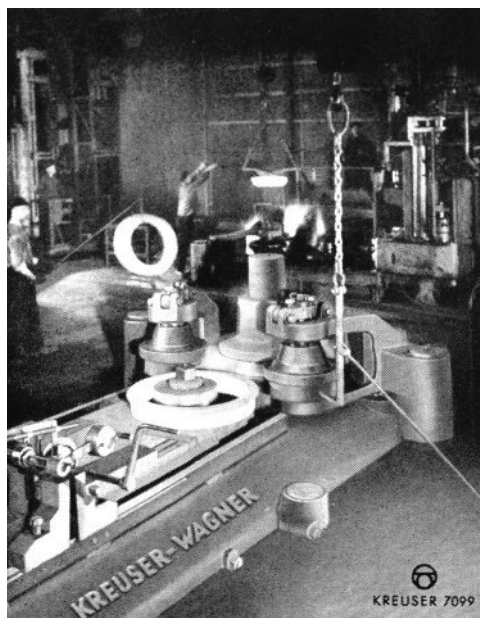


Рис. 1.16. Кольцераскатная машина

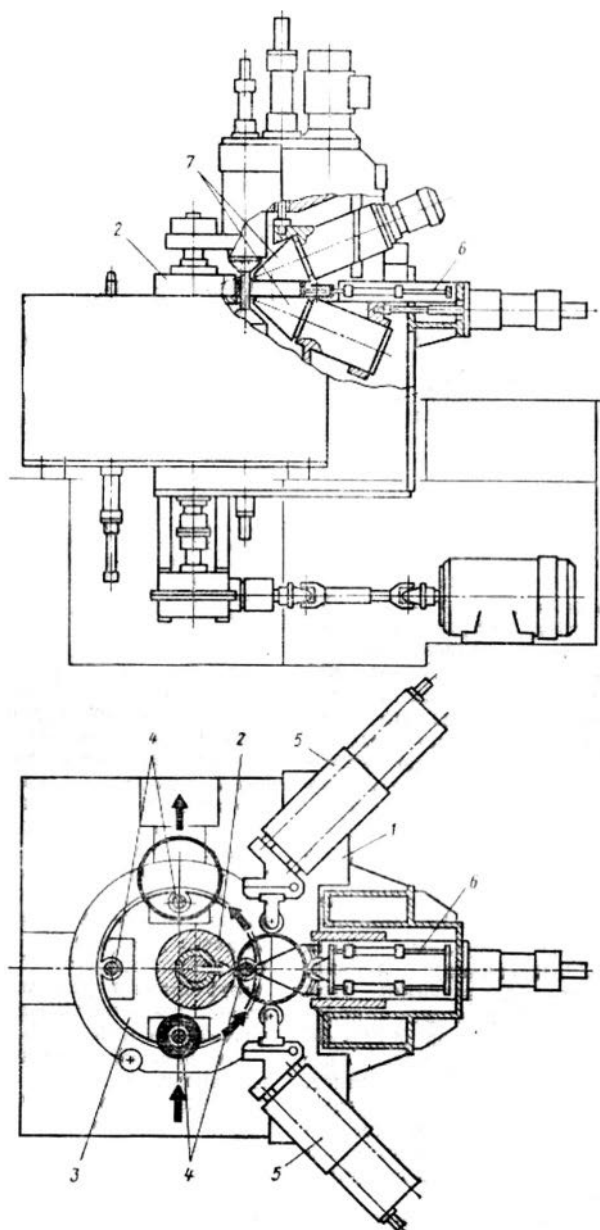


Рис. 1.17. Схема радиально-осевого кольцераскатного стана типа RAW: 1 – станина; 2 – радиальный валок; 3 – приводной стол; 4 – холостые ролики; 5 – центрирующее устройство; 6 – измерительное устройство; 7 – осевые валки



Рис. 1.18. Пулт управления кольцераскатной установки

ливать гораздо большие размеры колец или дисков и использовать однократный нагрев.

На рис. 1.17 представлена схема радиально-осевого стана для кольцераскатки типа RAW (Radial-Axial-Walzwerkes) [11].

Для привода вращения валков обычно используются электродвигатели постоянного тока с регулируемой частотой вращения. Для привода радиальных и осевых подач валков используется гидропривод и в последнее время электромеханический привод.

Обязательным элементом современной кольцераскатной установки является система ЧПУ, пулт управления которой обычно имеет вид, представленный на рис. 1.18 [18].

Использование кольцераскатки на современных кольцераскатных комплексах с ЧПУ имеет следующие преимущества:

- возможность изготовления колец и дисков больших диаметров с различными соотношениями наружного и внутреннего диаметров и высоты;

- возможность изготовления как отдельных, так и серийного производства колец;

- незначительные затраты средств и времени на переналадку для изготовления колец или дисков других типоразмеров;

- более высокое качество и точность по сравнению с другими способами производства колец;

- высокая степень учета свойств материала колец, что расширяет использование материалов с различными свойствами;

- повышение коэффициента использования материала по сравнению с другими способами производства колец.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Основные положения кольцераскатки	5
1.1. Область использования кольцераскатки.....	5
1.2. Процессы пластического деформирования.....	7
1.3. Схемы кольцераскатки.....	9
1.4. Стратегия кольцераскатки.....	11
1.5. Принципиальные особенности кольцераскатного оборудования.....	14
2. Расчетно-аналитические и экспериментальные исследования процессов кольце- раскатки	17
2.1. Расчетно-аналитические обоснования процессов кольцераскатки	18
2.1.1. Основные положения по выбору параметров кольцераскатки	18
2.1.2. Параметры радиального деформирования в процессе кольцераскатки	21
2.1.3. Кинематические соотношения радиального деформирования кольцерас- катки.....	24
2.2. Экспериментальные исследования процессов деформирования при кольцераскатке.....	27
2.2.1. Визуопластические исследования процесса кольцераскатки	27
2.2.2. Исследования процесса кольцераскатки с использованием метода конечных элементов.....	28
3. Программные средства моделирования процессов пластического деформирова- ния кольцераскатки	29
3.1. Программный продукт DEFORM	29
3.2. Программное обеспечение RingRoSi	30
3.3. Программное обеспечение CARWIN	35
3.4. Программное обеспечение ROLLTECH	35
3.5. Программное обеспечение «МАСТЕР ПРОКАТКИ»	40
4. Моделирование процесса кольцераскатки	41
4.1. Последовательность моделирования кольцераскатки с использованием метода конечных элементов	41
4.2. Проблемы моделирования процесса кольцераскатки.....	43
5. Технологические особенности кольцераскатки	48
5.1. Технологическая точность кольцераскатки.....	48
5.1.1. Погрешности формы при изготовлении колец кольцераскаткой	48
5.1.2. Температурное влияние на погрешность кольца	49
5.1.3. Достигаемая точность открытой кольцераскатки.....	50

5.2. Технологическая классификация деталей для кольцераскатки	51
5.2.1. Кольца с прямоугольным поперечным сечением.....	51
5.2.2. Кольца с профилированным поперечным сечением	53
5.2.3. Раскатка фланцев к ветроустановкам	57
5.3. Контроль качества кольцераскатки.....	58
6. Кольцераскатный комплекс	59
6.1. Состав кольцераскатного комплекса.....	59
6.2. Изготовители кольцераскатных комплексов	68
6.2.1. Компания SMS Meer GmbH (Германия)	68
6.2.2. Компания Mitsubishi Nagasaki Machinery (Япония)	69
6.2.3. Компания Zhucheng Shengyang Machinery (Китай)	71
6.2.4. Компания Kaltek (Южная Корея).....	71
6.2.5. Компания Qingdao Qiyuan Forging Machine (Китай).....	72
6.3. Опыт эксплуатации кольцераскатных комплексов в странах СНГ	72
7. Средства механизации кольцераскатного комплекса	73
7.1. Участок складирования исходного материала	73
7.2. Загрузка нагревательного устройства и подача заготовок от нагревательного устройства к прессу	74
7.3. Загрузка и обслуживание прессы и кольцераскатного стана	76
7.4. Разгрузка кольцераскатного стана.....	78
7.5. Использование промышленных роботов и манипуляторов в кольцераскатных комплексах.....	78
7.6. Складирование готовых колец и инструмента	80
8. Кольцераскатные станы	83
8.1. Радиальные и радиально-осевые кольцераскатные станы	84
8.2. Изготовители кольцераскатных станов.....	86
8.2.1. Компания SMS Meer GmbH (Германия)	86
8.2.2. Компания Mitsubishi Nagasaki Machinery (Япония)	91
8.2.3. Компания Zhucheng Shengyang Machinery (Китай)	92
8.2.4. Компания Kaltek (Южная Корея).....	93
8.2.5. Компания Anyang General Machinery Group (Китай).....	94
8.2.6. Компания Qingdao Qiyuan Forging Machine (Китай).....	95
8.3. Специальные кольцераскатные станы.....	97
8.3.1. Кольцераскатные станы типа ERAW	97
8.3.2. Кольцераскатные станы типа MERW	98
8.3.3. Кольцераскатные станы типа RICA.....	99
9. Специальные раскатные станы	101
9.1. Колесопрокатные станы для цельных железнодорожных колес	101
9.2. Осевая раскатка в штампах	105
10. Прессы для изготовления заготовок под кольцераскатку.....	107
10.1. Прессы с неподвижным столом.....	109
10.2. Прессы с подвижным столом	111
10.3. Устройства для обслуживания прессов в кольцераскатных комплексах	113
10.4. Изготовители прессов для кольцераскатных комплексов.....	114
10.4.1 Компания SMS Meer GmbH (Германия)	114
10.4.2. Компания Mitsubishi Nagasaki Machinery (Япония).....	115
10.4.3. Компания Zhucheng Shengyang Machinery (Китай)	116
10.4.4. Компания Qingdao Qiyuan Forging Machine.....	117
10.4.5. Компания MURARO S.P.A (Италия).....	118
10.4.6. ОАО «Тяжмехпресс» (Россия).....	118

11. Резка и нагрев заготовок	119
11.1. Резка заготовок	119
11.1.1. Резка на прессах и сортовых ножницах	119
11.1.2. Нагрев проката под резку на прессе	120
11.1.3. Резка дисковыми и ленточными пилами	121
11.2. Нагрев заготовок для кольцеракатного комплекса	122
11.2.1. Режимы нагрева заготовки	122
11.2.2. Скорость охлаждения заготовки	123
11.2.3. Пламенные камерные печи	124
11.2.4. Индукционные нагревательные устройства	128
11.2.5. Индукционные нагревательные устройства для кольцеракатных комплексов	130
11.2.6. Опыт использования нагревательных устройств для кольцеракатных комплексов	131
12. Системы программного управления кольцеракатным комплексом	133
13. Эспандеры для кольцеракатных комплексов	136
14. Выбор и обоснование параметров кольцеракатного комплекса	139
14.1. Принципиальные требования к выбору кольцеракатного комплекса	139
14.2. Расчет геометрических и весовых параметров кольца	141
14.3. Расчет времени кольцеракатки	143
14.4. Выбор прессы для формирования заготовки кольца	143
14.5. Выбор кольцеракатного стана	143
14.6. Выбор параметров кольцеракатного комплекса для деталей типа колец, фланцев, гильз и коронных шестерен	147
14.7. Выбор параметров кольцеракатного комплекса для деталей типа колец подшипников	152
15. Особенности использования кольцеракатки в производстве планетарных передач мобильных машин	156
15.1. Пути совершенствования конструкции и технологии изготовления зубчатых колес планетарных передач	156
15.2. Выбор расчетной методики прочности и долговечности зубчатых колес применительно к планетарным передачам	161
15.3. Анализ выхода из строя зубчатых колес планетарных передач редукторов мотор-колес самосвалов семейства БелАЗ	163
15.4. Расчеты прочности зубчатых колес планетарных передач с учетом изменения положения осей	164
15.5. Перспективы изготовления заготовок коронных зубчатых колес с использованием кольцеракатки	170
16. Кольцеракатка деталей колес карьерных самосвалов	172
17. Техничко-экономические показатели использования кольцеракатного комплекса для белорусских предприятий	176
Заключение	179
Литература	181