



УДК 621.74

Поступила 30.04.2013

П. А. ПАРХОМЧИК, В. В. РУДЫЙ, В. Е. АНТОНЮК, ОАО «БелАЗ»

ОСОБЕННОСТИ КОЛЬЦЕРАСКАТКИ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРОФИЛЬНЫХ КОЛЕЦ

Рассматриваются актуальные проблемы использования кольцераскатки в условиях мелкосерийного производства применительно к производству карьерных самосвалов семейства БелАЗ. Особое внимание уделяется определению оптимальных параметров кольцераскатки для профильных колец.

Actual problems of application of ring rolling in the conditions of small-lot production in relation to production of dump trucks of the BelAZ line are considered. The special attention is paid to determination of optimum parameters of ring rolling for profile rings.

Введение

Зарубежное машиностроение для изготовления кольцевых заготовок успешно использует кольцераскатные станы с ЧПУ, которые обеспечивают высокую и стабильную точность, минимальные припуски под последующую обработку, позволяют легко перенастраиваться 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 полностью исключается. Детали, полученные из кольцераскатных заготовок, как правило, имеют повышенные механические свойства.

В 2008 г. на предприятии «Уральская кузница» (г. Чебаркуль) введен в эксплуатацию кольцераскатный стан RAW 200(250)/160(200)-3500/1000, который является первым купленным в России кольцераскатным станом для производства колец диаметром до 3500 мм [1]. В 2010 г. компания РОСПОЛИМЕТ в г. Кулебаки ввела в эксплуатацию кольцераскатный стан RAW 400(500)/400(500)-6000/1200, на котором можно изготавливать кольца диаметром до 6000 мм [2].

На большинстве кольцераскатных станов изготавливаются непрофилированные кольца с прямоугольным сечением. Изготовление таких колец требует минимальных затрат на инструмент и переналадку кольцераскатного стана на другие размеры колец, в результате достигается минимальная стоимость изготовления кольца. Однако в этом случае не учитываются коэффициент использова-

ния материала и затраты на дальнейшую обработку колец.

Стратегия кольцераскатки при изготовлении профильных колец

При проработке целесообразности закупки оборудования для кольцераскатки для номенклатуры деталей Белорусского автомобильного завода возникла необходимость решения проблемы изготовления большой номенклатуры профилированных колец при их мелкосерийном производстве.

Кольцераскатный комплекс, в который входит весь набор оборудования для изготовления колец, является сложным и дорогим техническим решением, поэтому одно из важнейших условий приобретения кольцераскатного комплекса – выбор оптимальных параметров по соотношению цены и технических возможностей. В настоящее время в мировой практике кольцераскатки не имеется кольцераскатных комплексов, которые по своему составу и техническим параметрам приближались к техническим требованиям кольцераскатного комплекса для номенклатуры деталей БелАЗа.

В кольцераскатный комплекс для номенклатуры деталей БелАЗа должны входить различные виды оборудования:

- участок складирования материала;
- комплекс для резки металла;
- нагревательное устройство;
- манипулятор или средства механизации от нагревательного устройства к прессу;
- пресс для осадки и прошивки заготовок;

- устройство для дополнительного нагрева заготовок после пресса;
- манипулятор от пресса к кольцераскатному стану;
- кольцераскатной стан;
- перегружатель от кольцераскатного стана на транспортер;
- транспортер для колец;
- устройство для термообработки колец;
- устройство для калибровки колец – эспандер.

Использование систем ЧПУ для управления процессом изготовления колец позволило принципиально изменить технологический процесс изготовления колец. Система ЧПУ современного кольцераскатного стана позволяет контролировать и управлять процессом кольцераскатки изготовления буквально каждого отдельного кольца, что, в конечном итоге, позволяет получать высококачественное кольцо по физико-механическим свойствам при минимальных припусках под последующую обработку. Контроль за состоянием температуры кольца позволяет выполнить технологический цикл изготовления кольца с одного нагрева, что значительно снижает энергозатраты производства.

Для номенклатуры деталей БелАЗа необходимо создание принципиально новой системы управления не только процессом кольцераскатки, но и всего кольцераскатного комплекса. Зарубежный опыт кольцераскатки показал, что пока в мировой практике отсутствуют такие решения.

В связи с изложенным выше возникает необходимость разработки стратегии кольцераскатки с учетом особенностей номенклатуры деталей БелАЗа, которая заключается в том, что следует сопоставить затраты на получение профильного кольца и получаемую выгоду от экономии материала и затрат на последующую мехобработку. В стратегию кольцераскатки входит также выбор оптимальных режимов, позволяющих при минимальных мощностях, затрачиваемых на деформирование кольца, достичь наилучших результатов по точности и заданной форме готового кольца.

В работе [3] даны варианты выбора контура кольца в зависимости от программы выпуска колец. Из рис. 1 видно, какой окончательный про-

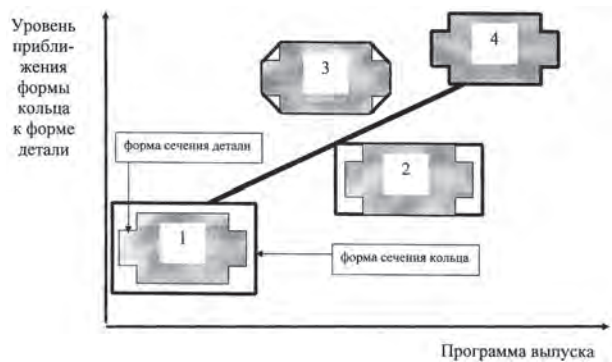


Рис. 1. Рекомендуемые формы сечения кольца в зависимости от программы выпуска

филь 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.

Изготовление колец с профилированным сечением является сложной задачей. Проблема заключается в том, что при профилировании вращающегося кольца не происходит точного совпадения профиля роликов и получаемого профиля кольца. Точность готового кольца зависит от пластических свойств материала, режимов деформирования, соотношения размеров поперечного сечения.

При изготовлении несимметричных профилей необходимо создание условий для симметричного течения материала. В некоторых случаях это достигается одновременной кольцераскаткой двух колец с последующей разрезкой (рис.2).

В ряде случаев требуется проведение дополнительных исследований по определению возможностей достижения желаемого профиля. Вместе с тем, изготовление профилированных колец позволяет получить значительную экономию материала, что оправдывает затраты на усложнение процесса кольцераскатки.

На рис. 3 представлены относительные величины затрат на окончательное изготовление деталей в зависимости от использования различных форм сечения раскатанного кольца [3].

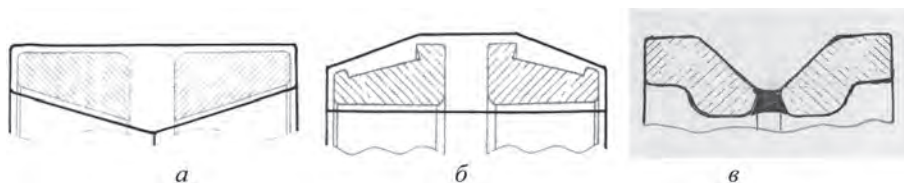


Рис. 2. Раскатка двух несимметричных колец: а – наружное кольцо подшипника; б – внутреннее кольцо подшипника; в – замочное кольцо

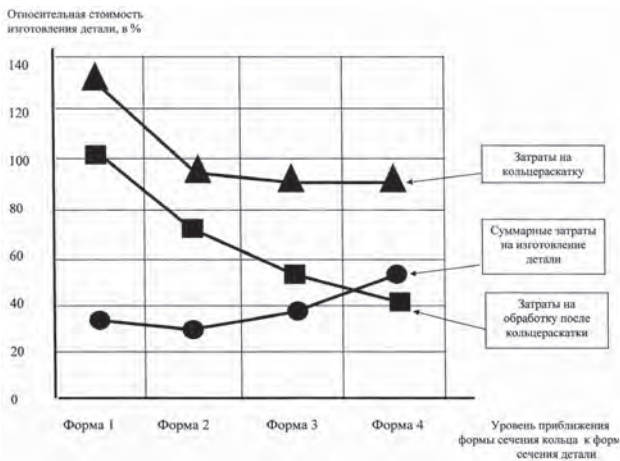


Рис. 3. Затраты на изготовление деталей с различными формами сечения кольца после кольцераскатки

Как видно из рисунка, 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 кольцераскатке достичь приближения профиля кольца к окончательному профилю детали.

Создаваемая система управления кольцераскатным комплексом для номенклатуры деталей БелАЗа должна обеспечить выполнение двух основных требований:

- обеспечение равного тактового времени на всех операциях и видах оборудования, входящих в кольцераскатный комплекс;
- обеспечение технологических режимов на всех операциях изготовления кольца с одного нагрева.

Для выполнения приведенных выше требований по выбору оптимальных параметров кольцераскатного комплекса и планирования его эффективного использования необходимо сделать ряд расчетов и обоснований, в состав которых входят следующие этапы работ:

- 1) для выбранной номенклатуры деталей разработать чертежи заготовок этих деталей после первой операции обработки полученной заготовки на кольцераскатном комплексе;
- 2) назначить припуски и допуски на обрабатываемые поверхности и допуски на необрабатываемые поверхности после кольцераскатки, разработать чертеж получаемого кольца на кольцераскатном комплексе;
- 3) выполнить группировку деталей по размерам, массе и типам профилей;
- 4) для номенклатуры деталей с профилем разработать унифицированные профили для сокращения номенклатуры профильных валков;

5) в зависимости от группировки деталей определить количество типоразмеров штамповой и кольцераскатной оснастки;

6) разработать размеры партий и периодичность изготовления для каждой группы деталей;

7) разработать очередность замены штамповой и кольцераскатной оснастки;

8) разработать очередность запуска в производство требуемого сортамента проката;

9) разработать очередность работы нагревательных устройств и других систем обслуживания кольцераскатного комплекса;

10) установить загруженность кольцераскатного комплекса.

Приведенная выше информация является исходной для планирования работы кольцераскатного комплекса и вводится в систему управления ЧПУ кольцераскатным комплексом.

Для выбранной номенклатуры деталей (или для деталей-представителей по каждой группе деталей) выполняются расчеты параметров заготовки после разрезки (длина, диаметр, масса); температуры и времени нагрева для операции получения заготовки кольца на прессе; потери на окисление при обработке на прессе и кольцераскатном стане; параметров заготовки кольца после пресса; суммарного машинного времени на выполнение всех переходов на прессе; суммарного и позиционных усилий пресса для получения заготовки кольца; параметров горячего кольца после кольцераскатки; суммарного машинного времени на выполнение процесса кольцераскатки; радиальных и осевых усилий для получения кольца на кольцераскатном стане; параметров охлажденного кольца; параметров повышения точности кольца с использованием эспандера; окончательных параметров готового холодного кольца.

По результатам этих расчетов выбираются параметры нагревательных устройств, пресса, кольцераскатного стана, эспандера. Для каждой детали по результатам расчетов машинного времени на прессе и кольцераскатном стане определяется тактовое время.

После выполнения расчетов для отдельных деталей или групп деталей принимается окончательное решение о выборе параметров пресса, кольцераскатного стана, эспандера, тактового времени для заданных групп деталей.

Выполняемые расчеты в итоге определяют выбор оборудования для всех операций кольцераскатного комплекса для обеспечения расчетного тактового времени. Как правило, определяющей операцией для тактового времени является кольцераскатка на кольцераскатном стане, в некоторых

случаях лимитирующей может быть операция получения заготовки под кольцераскатку на прессе. Все остальные виды оборудования, входящих в кольцераскатной комплекс, выбираются для обеспечения расчетного тактового времени. Как было указано выше, наиболее рациональным и экономически выгодным является технологический процесс с одним нагревом.

Машинное время кольцераскатки определяется для каждой конкретной детали при программировании процесса кольцераскатки. В значительной степени время кольцераскатки зависит от наружного диаметра и массы кольца, поэтому приближенно время кольцераскатки можно определять из рис. 4, 5. Приведенное на рисунках время кольцераскатки получено по имеющейся информации об эксплуатации кольцераскатных станков [4].

Следует учитывать, что значения времени кольцераскатки (рис. 4, 5) можно с достаточной достоверностью использовать для расчетов колец, имеющих соотношения наружного диаметра, внутреннего диаметра и высоты кольца в пределах, приведенных в табл. 1.

Приближенно зависимость времени кольцераскатки от наружного диаметра кольца может быть представлена уравнением

$$t = 0,0759 D - 7, \tag{1}$$


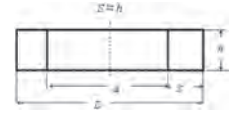
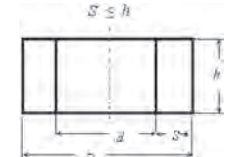
где t – время кольцераскатки, с; D – наружный диаметр кольца, мм.

Приближенно зависимость времени кольцераскатки от массы кольца имеет вид

$$t = 0,1024m + 29, \tag{2}$$

где m – масса кольца, кг.

Таблица 1. Соотношения параметров деталей для кольцераскатки

| Тип детали | Эскиз | Соотношение d/D | Соотношение h/D |
|------------|---|-------------------|-------------------|
| Диск |  | 0,50–0,65 | 0,04–0,12 |
| Кольцо |  | 0,65–0,80 | 0,12–0,25 |
| Гильза |  | 0,80–0,90 | 0,25–0,45 |

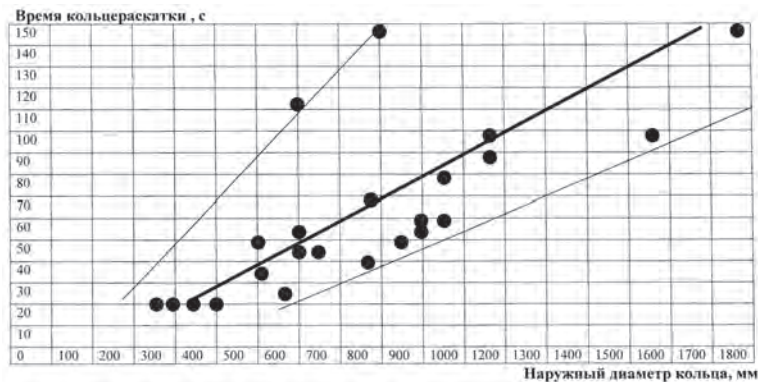


Рис. 4. Зависимость времени кольцераскатки от наружного диаметра окончательного кольца

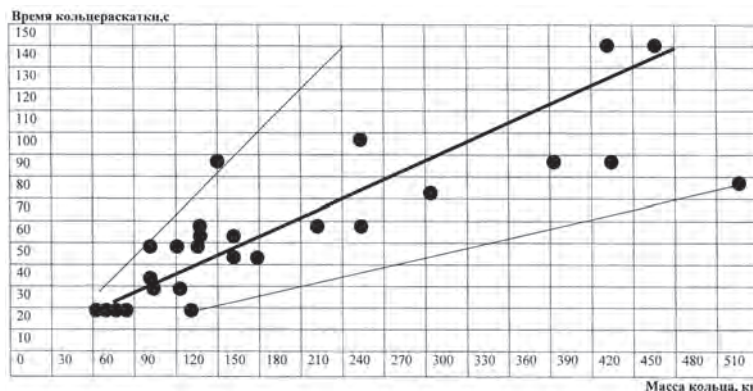


Рис. 5. Зависимость времени кольцераскатки от массы заготовки кольца

Расчет параметров кольцераскатки на примере деталей Белорусского автомобильного завода

Номенклатура деталей Белорусского автомобильного завода не постоянна и в процессе производства претерпевает изменения и дополнения. В связи с этим наиболее целесообразна группировка деталей и выполнение расчетов для деталей-представителей по каждой группе деталей [5].

В табл. 2 приведены группировка деталей и расчетное время такта для номенклатуры деталей-представителей с прямоугольным сечением кольца.

Для профильных колец с наружным и внутренним профилем рекомендуется увеличивать машинное время на 15–20%. В табл. 3 приведены группировка

деталей и расчетное время такта для номенклатуры деталей-представителей с профильными сечениями кольца.

По результатам расчета тактового времени для всей номенклатуры деталей выполняется расчет загрузки кольцераскатного комплекса (табл. 4.)

Выполненный расчет загрузки кольцераскатного комплекса позволяет сделать вывод о недостаточной его загрузке. В результате представляется возможность увеличить номенклатуру деталей для кольцераскатки или расширить номенклатуру профильных колец с приближением профиля кольца к профилю детали.

После выполнения приведенных выше расчетов выполняется выбор параметров оборудования,

Таблица 2. Группировка и расчет времени такта деталей с прямоугольным сечением кольца

| Номер группы | Диапазон по наружному диаметру, мм | Габаритные размеры заготовки после кольцераскатки, мм | | | Масса заготовки, кг | Годовая программа, шт. | Время кольцераскатки, с | | Суммарное время на годовую программу, ч |
|--------------|------------------------------------|---|----------------------|------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------|---|
| | | деталь-представитель | наружный диаметр D | внутренний диаметр d | | | высота h | машинное | |
| 1 | 2000–1400 | | | | | 1500 | 150 | 195 | 82,7 |
| | Фланец | 1808 | 1580 | 86 | 406 | 600 | | | |
| 2 | 1400–1000 | | | | | 2300 | 100 | 145 | 92,7 |
| | Шестерня | 1237 | 1093 | 155 | 318 | 50 | | | |
| 3 | 1000–950 | | | | | 5100 | 70 | 95 | 134,5 |
| | Шестерня | 950 | 808 | 153 | 234 | 1262 | | | |
| 4 | 950–900 | | | | | 3300 | 60 | 85 | 77,9 |
| | Кольцо | 930 | 830 | 108 | 114 | 1362 | | | |
| 5 | 900–750 | | | | | 3250 | 55 | 75 | 67,7 |
| | Шайба | 894 | 827 | 20,3 | 15 | 1040 | | | |
| 4 | 750–500 | | | | | 5200 | 45 | 65 | 93,9 |
| | Шестерня | 675 | 581 | 210 | 154 | 1328 | | | |
| 5 | 500–300 | | | | | 1700 | 30 | 50 | 23,6 |
| | Шестерня | 473 | 400 | 113 | 45 | 1610 | | | |
| | ВСЕГО | | | | | | | | 573,0 |

Таблица 3. Группировка и расчет времени такта деталей с профильным сечением кольца

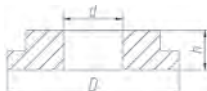
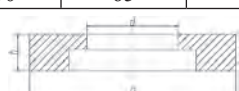
| Тип колец | Размеры заготовки после кольцераскатки, мм | | | Годовая программа, шт. | Время кольцераскатки, с | | Суммарное машинное время на годовую программу, ч | Количество переналадок в год | Суммарное время переналадок, ч |
|-----------------------|--|------------------------|------------|------------------------|-------------------------|-------|--|------------------------------|--------------------------------|
| | наружный диаметр D | внутренний диаметр d | высота h | | машинное | такта | | | |
| С наружным профилем |  | | | | | | | | |
| Кольцо | 1195 | 1070 | 198 | 800 | 120 | 165 | 36,7 | 4 | 8 |
| Адаптер | 1110 | 754 | 116 | 1600 | 105 | 140 | 62,4 | 8 | 16 |
| Кольцо | 1190 | 1068 | 95 | 1000 | 95 | 120 | 33,5 | 5 | 10 |
| Кольцо | 780 | 605 | 53 | 350 | 65 | 85 | 8,4 | 2 | 4 |
| С внутренним профилем |  | | | | | | | | |
| Кольцо | 960 | 843 | 88 | 300 | 95 | 120 | 10 | 3 | 15 |
| ВСЕГО | | | | | | | 151 | | 53 |

Таблица 4. Расчет загрузки кольцераскатного комплекса

| Параметры | Значения параметров деталей и загрузки |
|--|--|
| Количество наименований колец, шт. | 40 |
| Количество колец с прямоугольным профилем, шт. | 25 |
| Количество колец с наружным профилем, шт. | 12 |
| Количество колец с внутренним профилем, шт. | 3 |
| Материал колец | 40, 45ХМА, 45ХН, 30ХН3А, 38Х2МЮА |
| Годовое суммарное машинное время на изготовление колец с прямоугольным профилем, ч | 573 |
| Годовое суммарное машинное время на изготовление колец с наружным профилем, ч | 141 |
| Годовое суммарное машинное время на изготовление колец с внутренним профилем, ч | 10 |
| Суммарное время переналадок на профильные кольца, ч | 53 |
| Суммарное время на изготовление годовой программы колец, ч | 777 |
| Загрузка кольцераскатного комплекса по изготовлению годовой программы колец при 2-сменной работе и коэффициенте использования рабочего времени 0,75, % | 26 |

Таблица 5. Варианты комплектования кольцераскатного комплекса

| Параметры | Варианты комплектования кольцераскатного комплекса | | |
|--|--|-----------------------------------|---------------------|
| | Вариант 1 | Вариант 2 | Вариант 3 |
| Наружный диаметр колец, мм | 200–2000 | 200–2000 | 400–3500 |
| Высота кольца, мм | 20–400 | 20–400 | 50–1000 |
| Масса готового кольца, кг | 25–650 | 1000 | 1000 |
| Диаметр заготовки, мм | 140–400 | 140–400 | 140–400 |
| Высота (длина) заготовки, мм | 190–845 | 190–845 | 190–845 |
| Масса заготовки, кг | до 1000 | до 1000 | до 1000 |
| РЕЗКА | Дисковая пила | Пресс-ножницы | Ленточная пила |
| Максимальный диаметр, мм | 400 | 300 | 400 |
| НАГРЕВ | Печь камерная | Индукционный | Печь камерная |
| ТРАНСПОРТ к прессу | Манипулятор промышленный | Дизельно-гидравлический погрузчик | Рельсовый погрузчик |
| Максимальная масса, кг | 1000 | 1000 | 1000 |
| Диапазон захвата, мм | 50–1370 | 50–1370 | 50–1500 |
| Загрузочный манипулятор к прессу | Манипулятор промышленный | Манипулятор промышленный | Рельсовый погрузчик |
| ПРЕСС | Гидравлический | Гидравлический | Гидравлический |
| Количество позиций | 3 | 3 | 3 |
| Передача заготовки с позиции | Манипулятор промышленный | Манипулятор промышленный | Рельсовый погрузчик |
| Стол | Неподвижный | Неподвижный | Подвижный |
| Максимальное усилие, кН | – | – | 50000 |
| Усилие прошивки, кН | – | – | 9000 |
| Подъемное усилие, кН | – | – | 40 |
| Максимальное усилие на поз. 2, кН | 20000 | 20000 | – |
| Усилие на поз. 1, кН | 620 | 620 | – |
| Усилие на поз. 2 и 3, кН | 880 | 880 | – |
| Усилие выталкивания поз. 2, кН | 950 | 950 | – |
| Скорость прессования, мм/с | 45–90 | 45–90 | 25 |
| Мощность суммарная, кВт | 1128 | 1128 | – |
| Устройство охлаждения и удаления окалины | В составе пресса | В составе пресса | В составе пресса |
| ТРАНСПОРТ – от пресса к кольцераскатному стану | Манипулятор промышленный | Манипулятор промышленный | Рельсовый погрузчик |
| Диапазон захвата, мм | 100–900 | 100–900 | – |
| КОЛЬЦЕРАСКАТНОЙ СТАН | Радиально-осевой | Радиально-осевой | Радиально-осевой |
| Радиальное усилие, кН | 800 | 1000 | 2000 |
| Увеличение радиального усилия, кН | 1000 | 1250 | 2500 |
| Осевое усилие, кН | 800 | 1000 | 1600 |
| Увеличение осевого усилия, кН | 1000 | 1250 | 2000 |
| Диаметр кольца, мм | 200–2000 | 200–2000 | 400–3500 |
| Высота кольца, мм | 20–400 | 20–400 | 50–1000 |
| Устройство для калибровки колец | Нет | Эспандер | Эспандер |
| Внутренний диаметр, мм | – | 300–1500 | 1000–3500 |
| Кабина | Один оператор | Один оператор | Два оператора |
| Производительность, т/ч | 5 | 5 | 8 |

входящих в состав кольцеракатного комплекса. В табл. 5 приведены варианты комплектования оборудованием кольцеракатного комплекса.

По результатам выбора технических параметров кольцеракатного комплекса разрабатываются коммерческое предложение и технико-экономическое обоснование выбора варианта комплектования кольцеракатного комплекса.

Выводы

1. Предложена стратегия выбора параметров кольцеракатного комплекса для условий мелкосерийного производства при необходимости сочета-

ния изготовления профильных и непрофильных колец.

2. Приведены расчетные зависимости расчета машинного и тактового времени кольцеракатного комплекса для определения его загрузки и вариантов комплектования комплекса различными видами оборудования.

3. Проанализированы особенности использования кольцеракатки профильных колец и предложенной стратегии на примере номенклатуры различных типов колец для условий мелкосерийного производства карьерных самосвалов Белорусского автомобильного завода.

Литература

1. ОАО «Уральская кузница» // [Electronic resource]. Mode of access: http://www.mechel.ru/about/production_capacity/info.wbp?id=c32dc7ef-d6c0-411f-80a2-57ec386c4801. Date of access: 10.01.2013.
2. Русполимет // [Electronic resource]. – Mode of access: // <http://www.ruspolymet.ru/>. Date of access: 10.01.2013.
3. Kluge, A. Glühende Ringe – Das Ringwalzen als wichtiges Verfahren der Massivumformung / A. Kluge, H. Faber // MM Industrie Magazin, Vogel Industrie Medien GmbH & K Sonderdruck aus Heft. 2005. S. 26–31.
4. Ringwalzen. Wagner Banning. –: SMS Meer. 171 s.
5. Пархомчик П. А. Особенности использования кольцеракатного комплекса в производстве деталей ОАО «БелАЗ» / П. А. Пархомчик [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. 2012. Вып. 1. С. 354–357.