

АНАЛИЗ СИЛОВЫХ И СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ КОЛЕС

Снитко С.А.

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк)

Выполнен анализ силовых и скоростных параметров прокатки железнодорожных колес. На его основе показаны недостатки существующей технологии и определены направления ее развития.

Актуальной проблемой, стоящей сегодня перед ведущими заводами-производителями штамповано-катаных колес Украины (ОАО «Интерпайп НТЗ») и России (ОАО «Выксунский металлургический завод» (ВМЗ)), является снижение металлоемкости производства, в том числе за счет уменьшения процента брака на прессопрокатной линии. Решение данной проблемы связано с необходимостью выполнения исследований в двух направлениях. Первое направление – это анализ температурно-скоростных, силовых и деформационных режимов штамповки и прокатки колесных заготовок на основе экспериментальной информации, полученной в условиях промышленного производства колес. Второе направление – это теоретические исследования и разработки, направленные в конечном итоге на создание новых методов расчета и проектирования металлосберегающих технологий штамповки и прокатки колес.

Вопросы, касающиеся технологии штамповки колесных заготовок и методов ее проектирования, разработаны на современном научном уровне, причем, как в рамках первого [1, 2 и др.], так и второго из указанных выше направлений исследований [3, 4 и др.]. Ведутся также работы в части совершенствования технологии прокатки колес и методов ее разработки [5–7 и др.]. Вместе с тем, в современной технической литературе недостаточно изучен вопрос изменения скоростных и силовых параметров при прокатке колес по существующим в настоящее время калибровкам и режимам обжаты. В современных публикациях по прокатке колес авторы в своих разработках опираются на устаревшие данные экспериментальных исследований 70-х и более ранних годов прошлого столетия [8, 9]. На сегодняшний день эти данные в целом позволяют получить общие представления о процессе деформации колесной заготовки в очаге деформации колесопрокатного стана (КПС), но лишь на качественном уровне, так как не имеют привязки к конкретным силовым и скоростным параметрам прокатки и фактической калибровке инструмента деформации. Поэтому необходим комплексный анализ современных технологических режимов прокатки колес, а именно, анализ силовых и скоростных параметров прокатки во взаимосвязи с режимом обжаты колесной заготовки и приращения ее диаметра

на различных стадиях процесса. Это позволит, во-первых, получить достоверную информацию о закономерностях протекания современного процесса прокатки колес в количественном выражении, а, во-вторых, определить приоритетные направления развития существующей технологии с целью снижения процента брака колес, имеющего прокатное происхождение. Решению поставленных задач и посвящена настоящая работа.

Экспериментальная информация по силовым и скоростным параметрам процесса прокатки получена в условиях промышленного производства колес $\varnothing 957$ мм с плоскоконическим диском на прессопрокатной линии ОАО «ВМЗ». По принятой схеме деформации, заготовки массой 485 кг после предварительной осадки гладкими плитами на прессе силой 20 МН транспортировали по рольгангу к прессу силой 50 МН. Поданные на стол пресса силой 50 МН заготовки, имеющие температуру 1190°C , подвергали осадке-разгонке конусной плитой в нижнем технологическом кольце. Подготовленные таким образом заготовки транспортировали по рольгангу к прессу силой 100 МН, где получали отформованные заготовки (рис. 1) с окончательными размерами ступицы с примыкающей к ней частью диска и предварительными для последующей прокатки размерами обода с примыкающей к нему частью диска.

Поступившую с пресса силой 100 МН колесную заготовку, имеющую температуру 1150°C , с помощью загрузочного устройства задавали в стан. При выполнении исследований, в соответствии с технологической инструкцией, на КПС выполняли следующие операции: раскатку колеса по диаметру и выкатку диска; выкатку поверхности катания и внутренней поверхности обода; выкатку гребня; полировку элементов профиля обода. Величина раскатки колес по внутреннему диаметру обода составляла 146–147 мм, а величина суммарного осевого обжатия обода равнялась 28 мм (рис. 1). После прокатки температура ободьев черновых колес повышалась в результате деформационного разогрева на $\sim 50^{\circ}\text{C}$.

В процессе выполнения технологических операций, связанных с прокаткой колес, производили замеры давлений жидкости в гидросистеме КПС. Выполняли три параллельных замера давлений жидкости. В качестве измерительных приборов использовали: манометры избыточного давления МТП–160 – для замеров давлений в гидроцилиндре рабочего хода верхнего наклонного вала и гидроцилиндре прямого хода салазок нажимных валков; манометр избыточного давления МП 4–У – для замеров давления в гидроцилиндре прямого хода каретки коренных валков. Диапазон показаний манометров – (0–40) МПа, цена деления – 5 МПа, класс точности – 1,5.

Фиксирование показаний манометров выполняли путем видеосъемки* цифровой камерой Canon Power Shot A 570 IS с последующей

* Видеосъемка выполнена профессором кафедры «Обработка металлов давлением» ДонНТУ, д.т.н. Яковченко А.В.

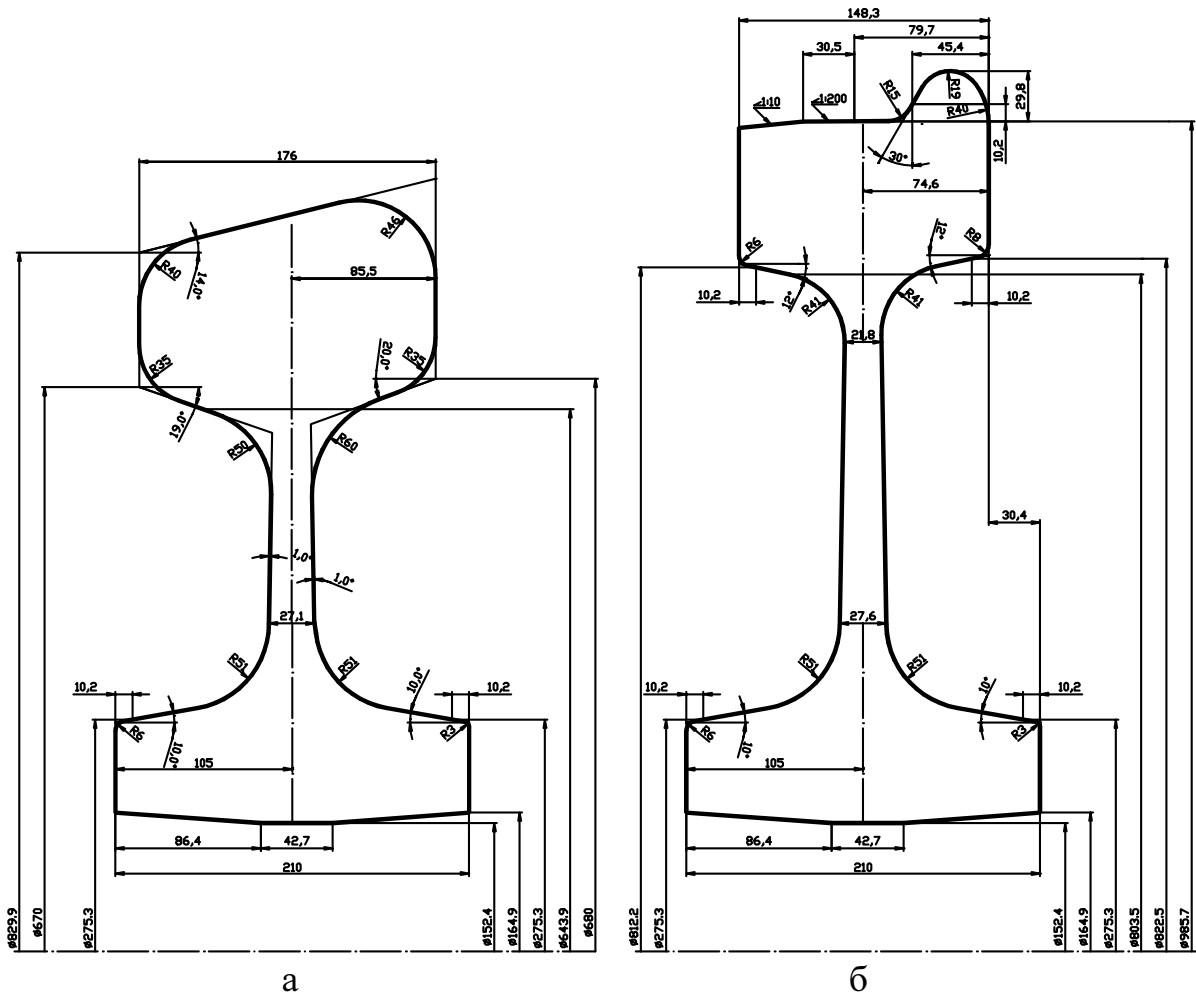


Рисунок 1 – Колесная заготовка (а) и прокатываемое из него черновое колесо (б) (существующая калибровка по металлу)

передачей информации в компьютер. Обработку результатов видеосъемок, включающую построение массивов данных по давлениям в зависимости от времени, осуществляли на компьютере с шагом по времени $\Delta t=0,033$ с. Расчет соответствующих значений сил P выполняли по формуле

$$P = \frac{\pi d_{\text{п}}^2}{4} p, \quad (1)$$

где $d_{\text{п}}$ – диаметр плунжера гидроцилиндра рабочего хода, м ($d_{\text{п}}=0,4$ м для верхнего наклонного валка; $d_{\text{п}}=0,36$ м для салазок нажимных валков; $d_{\text{п}}=0,25$ м для каретки коренных валков);

p – давление жидкости в гидросистеме КПС, МН/м².

Полученные значения сил (усредненные по 3-м параллельным замерам давлений) при прокатке черновых колес представлены в виде графических зависимостей от времени деформации и показаны на рис. 2.



Рисунок 2 – Графики сил при прокатке колес Ø957 мм

Расчет приращения внутреннего диаметра колеса при прокатке выполняли на основе данных о перемещении каретки коренных валков и перемещении салазок нажимных валков. Указанные данные при прокатке каждого колеса фиксируются с помощью специально предусмотренных датчиков [10] и автоматически выводятся на дисплей в виде графических зависимостей в режиме реального времени. Кроме того, на данном дисплее также в автоматическом режиме строится график приращения внутреннего диаметра прокатываемого колеса. Настройка системы автоматики ведется по приращению внутреннего диаметра прокатываемого колеса. Система ведет отсчет от нуля и до требуемой величины раскатки колеса по внутреннему диаметру. Указанные графики, построенные с использованием усредненных по 3-м параллельным замерам значениям соответствующих параметров, представлены на рис. 3.

На основе полученной экспериментальной информации и существующей калибровки по металлу, выполнен анализ параметров процесса прокатки колес в зависимости от времени его протекания. На первом этапе ($0 \leq t \leq 2,5 \text{ с}$), когда колесная заготовка подана с приемного рольганга в межвалковое пространство и уложена на нижний наклонный валок и опору станины, в магистраль масла низкого давления последовательно включают: гидроцилиндр прямого хода каретки коренных валков; гидроцилиндр рабочего хода верхнего наклонного валак. После того, как каретка коренных валков подана вперед до упоров и верхний наклонный валок вошел в контакт с заготовкой ($0 \leq t \leq 1,867 \text{ с}$), включают электродвигатели главных приводов и осуществляют разгон двигателей до заданной скорости (число оборотов наклонных валков достигает $\sim 200 \text{ об/мин}$). При $t=2,5 \text{ с}$ гидроцилиндр рабочего хода верхнего наклонного валак включают в

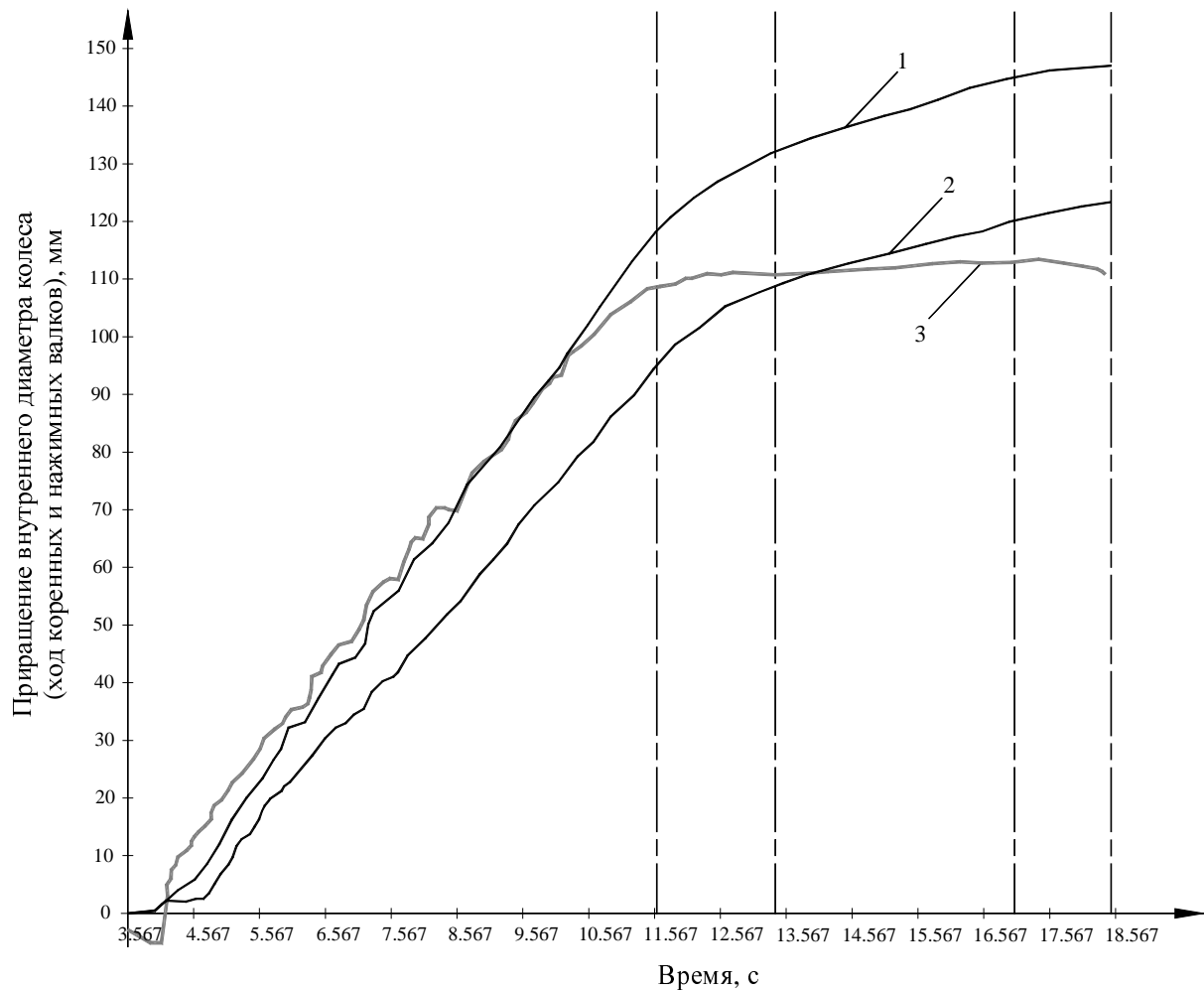


Рисунок 3 – Графики роста внутреннего диаметра колеса и движения валков при прокатке колес: 1 – приращение внутреннего диаметра колеса; 2 – ход каретки коренных валков; 3 – ход салазок нажимных валков

магистраль масла высокого давления (см. рис. 2). При этом сила, развиваемая гидроцилиндром прямого хода каретки, постепенно достигает рабочего уровня $\sim 270\text{--}290$ кН.

На начальном этапе деформации колесной заготовки реализуют осевое обжатие обода до соприкосновения наклонных валков с отштампованной поверхностью диска. Затем к заготовке на низком давлении подводят нажимные валки ($2,5 \text{ с} \leq t \leq 3,567 \text{ с}$). После того, как нажимные валки вошли в контакт с заготовкой, согласно применяемой технологии, осуществляют «выбор» зазора между внутренней поверхностью обода и поверхностью наклонных валков. При $t=3,567 \text{ с}$ (см. рис. 2, 3) начинается медленный рост внутреннего диаметра колеса. На этом этапе ($3,567 \text{ с} \leq t \leq 4,167 \text{ с}$) величина раскатки колеса по внутреннему диаметру равна $\sim 2,2$ мм, а средняя скорость роста внутреннего диаметра колеса $V \approx 3,7$ мм/с. Затем гидроцилиндр прямого хода салазок включают в магистраль масла высокого давления.

Таким образом, к моменту времени $t \approx 4,2$ с реализована большая часть суммарного осевого обжатия, заложенного при разработке калибров-

ки по металлу. Оставшееся обжатие, прежде чем верхний наклонный валок достигнет своего крайнего нижнего положения, составляет ~3 мм. Оно необходимо для получения уклона в прокатанной части диска колеса. Следовательно, дальнейшая осевая деформация обода верхним и нижним наклонными валками происходит преимущественно за счет обжатия металла, идущего в уширение при радиальных обжатиях обода коренными и, главным образом, нажимными валками (см. рис. 2). Другими словами, заложенное в калибровке достаточно большое суммарное осевое обжатие (28 мм) реализуют еще в самом начале интенсивной раскатки колеса по диаметру. То есть, его назначают лишь для обеспечения захвата металла приводными наклонными валками при разгоне двигателей и в начальный момент раскатки. Поэтому на данном этапе, когда нажимные валки только вошли в контакт с заготовкой и зазор между внутренней поверхностью обода и наклонными валками еще полностью не «выбран», обжимаемый наклонными валками металл большей частью течет в увеличение толщины обода колесной заготовки. При этом не исключена возможность контакта торца обода с нижним наклонным валком за пределами зоны противозакатного бурта. В этом случае на ободке будет образовываться углубление, которое, в свою очередь, может послужить причиной образования заката под гребнем с внутренней стороны колеса.

Кроме того, на этапе, когда к заготовке подводят нажимные валки и начинают «выбор» зазора между внутренней поверхностью обода и наклонными валками, периодически будут возникать следующие неблагоприятные ситуации, которые могут привести к браку колес по невыполнению размеров диска. Первая ситуация будет иметь место, когда в указанный момент времени наклонные валки еще не коснулись поверхности диска, а зазор уже «выбран» и началась стадия интенсивного роста внутреннего диаметра колеса. Это приведет к тому, что в месте стыковки прокатанной части диска с отштампованной его частью будет наблюдаться резкий перепад толщины диска за счет получения более толстой прокатанной части диска. Другая ситуация может иметь место, когда наклонные валки уже начали обжимать металл в зоне диска, а стадия интенсивного роста внутреннего диаметра прокатываемого колеса еще не началась. В этом случае может быть получен такой вид брака, как «резкий переход диска», связанный с резким уменьшением его толщины в месте стыковки отштампованной и прокатанной частями диска. Это также может привести к невыполнению уклона в месте сопряжения диска с ободом колеса.

Следующий, самый продолжительный этап прокатки колесной заготовки начинается при $t \geq 4,167$ с (см. рис. 2, 3). Он связан с ростом давления нажимных валков на прокатываемое колесо (увеличение радиальных обжатий обода). На этом этапе ($4,167 \text{ с} \leq t \leq 11,6 \text{ с}$) скорость роста внутреннего диаметра колеса увеличивается и в среднем составляет $V \approx 15,6$ мм/с, величина раскатки колеса по внутреннему диаметру равна ~116 мм. При этом

сила, розвивається гідроциліндром прямого ходу салазок, збільшується з 560 кН до 1140 кН з наступним поступовим зниженням до ~ 936 кН, а сили, розвиваемі гідроциліндрами робочого ходу верхнього нахилного валка і прямого ходу каретки, підтримуються постійними на рівні ~2073 кН і ~ 275 кН відповідно (см. рис. 2). На розглянутому етапі прокатки колесну заготовку інтенсивно раскатують по діаметру, виконують при цьому обжатию обода по ширині і внутрішньої поверхні і выкатку диска нахилними валками, а також формування гребня і поверхні катання колеса нажимними валками. В процесі радіальної деформації металу обода також беруть участь і коренні валки, які не тільки підтримують заготовку в час її обертання, але і формують поверхню катання колеса. При зростанні діаметра прокатуваного колеса, згідно технології, каретка коренних валків переміщується назад.

Починаючи з $t \geq 11,6$ с припиняють надходження рідини в гідроциліндр прямого ходу салазок і прокатку колесної заготовки ведуть за рахунок гідравлічної «пружини». При цьому спостерігається плавне зниження сили, розвиваємої гідроциліндром прямого ходу салазок, з 1140 кН до (при $t=11,6$ с) до 936 кН (при $t=13,4$ с). Швидкість зростання внутрішнього діаметра колеса також зменшується і в середньому становить $V \approx 7,6$ мм/с, а величина раскатки колеса по внутрішньому діаметру на розглянутому етапі дорівнює ~13,7 мм (см. рис. 3).

Наступний етап прокатки колесної заготовки ($13,4 \leq t \leq 17,033$ с) пов'язаний з выкаткою гребня колеса шляхом реалізації «підпора» каретки коренних валків. В режимі «підпора» сила, розвиваєма гідроциліндром прямого ходу каретки, збільшується з 275 кН до 368 кН, а сила, розвиваєма гідроциліндром прямого ходу салазок, продовжує поступово зменшуватися з 936 кН до 916 кН (см. рис. 2), що, в свою чергу, тягне за собою зниження величини ходу салазок (см. рис. 3). При постійних значеннях вказаних сил колесо прокатують в часі ~1,3 с, а потім рівні сил плавно зменшуються до 814 кН в гідроциліндрі прямого ходу салазок нажимних валків і до ~ 319 кН в гідроциліндрі прямого ходу каретки коренних валків. Давлення в гідроциліндрі робочого ходу верхнього нахилного валка при прокатці в режимі «підпора» каретки підтримується постійним на рівні 2136 кН (см. рис. 2). Швидкість зростання внутрішнього діаметра колеса на розглянутому етапі зменшується і в середньому становить $V \approx 3,6$ мм/с, а величина раскатки колеса по внутрішньому діаметру ~12,9 мм (см. рис. 3).

Таким чином, в процесі реалізації «підпора» каретки коренних валків, забезпечуючого обмеження можливості переміщення каретки назад, має місце інтенсивне течіння обжимаємого металу в зону гребня за рахунок обмеження зростання діаметра прокатуваного колеса (см. рис. 3).

Следует также отметить, что, как видно из рис. 2, силу, развиваемую гидроцилиндром рабочего хода верхнего наклонного валка (когда он уже подключен к магистрали масла высокого давления), в процессе прокатки повышают в три последовательных этапа, чем обеспечивают формирование требуемого уклона прокатанной части диска колеса.

Следующий и заключительный этап прокатки колесной заготовки на КПС – это «полировка» обода. В процессе «полировки» ($17,033\text{с} \leq t \leq 18,5\text{с}$) реализуют небольшие постоянно снижающиеся обжатия, за счет чего достигается повышение точности и стабильности размеров элементов профиля обода по периметру колеса. Величина раскатки колеса по внутреннему диаметру обода на этом этапе составляет не более 2 мм (см. рис. 3). Средняя скорость роста внутреннего диаметра колеса равна $V \approx 1,4 \text{ мм/с}$. На этом этапе прокатки вначале осуществляют слив жидкости из гидроцилиндра прямого хода салазок нажимных валков, в котором наблюдается стремительное (за 0,334 с) падение давления, а, следовательно, развиваемой силы с 814 кН до 0 (см. рис. 2). За счет этого при «полировке» обода исключена возможность превышения требуемой величины раскатки колеса по внутреннему диаметру, так как нажимные валки практически не имеют прямого хода (см. рис. 3). Затем, с задержкой $\sim 1 \text{ с}$, осуществляют слив рабочей жидкости из гидроцилиндра прямого хода каретки коренных валков и гидроцилиндра рабочего хода верхнего наклонного валка.

При $t=18,5\text{с}$ процесс прокатки завершается – приводные двигатели выключают и валки разводят в исходное положение.

Таким образом, в свете вышеизложенного, перспективным для условий производства колес на ОАО «ВМЗ» (а также и на ОАО «Интерпайп НТЗ», где применяемая технология прокатки колес, учитывая идентичность прессопрокатного оборудования линий, в целом аналогична) может являться вариант технологии прокатки колес, обеспечивающий одновременное начало двух процессов: интенсивного роста диаметра прокатываемого колеса и обжатия металла в зоне диска наклонными валками. Этого можно добиться, например, за счет стационарного положения верхнего наклонного валка на начальном этапе прокатки и закладыванием в калибровку по металлу величины суммарного осевого обжатия обода, необходимой лишь для выкатки уклона по диску (обжатие $\sim 3 \text{ мм}$) и для осуществления разгона приводных двигателей наклонных валков до заданного числа оборотов (обжатие $\sim 5 \text{ мм}$). При таком варианте ведения технологии прокатки в процессе разгона приводных двигателей (раскрутки колесной заготовки) вместе с приводными наклонными валками (которые подведены к заготовке на низком давлении) можно использовать приводной коренной валок. Затем, по мере достижения приводными двигателями наклонных валков требуемого числа оборотов, к заготовке подводят нажимные валки и отключают привод коренного валка. Далее гидроцилиндр прямого хода салазок включают в магистраль масла высокого давления. Одновременно в ма-

гистраль масла высокого давления включают гидроцилиндр рабочего хода верхнего наклонного вала.

Здесь следует отметить, что, как видно из рис. 2, повышение уровня давления в гидроцилиндре рабочего хода верхнего наклонного вала происходит в среднем за ~1,5 с. В течении этого времени будет происходить «выбор» зазора, но наклонные валки не будут обжимать диск, так как сила, развиваемая гидроцилиндром рабочего хода верхнего наклонного вала еще не достаточно велика. Следовательно, через ~1,5 с (~2 оборотов заготовки) зазор будет «выбран», сила, развиваемая гидроцилиндром рабочего хода верхнего наклонного вала, выйдет на рабочий уровень значений ~2073 кН, а возросшая к этому времени до величины ~710 кН сила, развиваемая гидроцилиндром прямого хода салазок нажимных валков, обеспечит скорость роста внутреннего диаметра прокатываемого колеса на уровне 15 мм/с. При этом наклонные валки будут обжимать металл, пошедший в уширение от радиального обжатия заготовки нажимными валками.

Таким образом, выполнен анализ силовых, скоростных и деформационных режимов прокатки колес по существующей в колесопркатном цехе ОАО «ВМЗ» технологии. Показано, что прокатка колес, являясь существенно нестационарным процессом, включает пять характерных стадий. Установлено, что в рамках каждой из указанных стадий прокатки среднюю скорость роста внутреннего диаметра колеса можно считать величиной постоянной. Также установлено, что в существующих условиях промышленного производства колес весьма затруднительно точно фиксировать момент времени, когда необходимо начинать интенсивную раскатку колеса по диаметру (подачу высокого давления в гидроцилиндр прямого хода салазок нажимных валков), так как существующая система автоматики не регистрирует перемещение верхнего наклонного вала. Данные особенности ведения технологии прокатки, предусматривающие большую величину суммарных осевых обжатий, реализуемых на начальном этапе раскатки, могут приводить к браку на прокате, в первую очередь по невыполнению размеров диска. Поэтому, перспективным направлением совершенствования технологии прокатки колес является получение колесной заготовки с меньшей шириной обода, и, соответственно, прокатка с гораздо меньшим суммарным осевым обжатием. При этом диаметр колесной заготовки также необходимо будет увеличить для предотвращения контакта торцов наклонных валков со ступицей. Лимитирующим фактором при назначении максимального внутреннего диаметра колесной заготовки будет являться допустимая сила штамповки на формовочном прессе. Реализация предлагаемых мероприятий позволит снизить процент отбраковки колес, а также уменьшить цикл на КПС за счет уменьшения величины раскатки колес по диаметру.

Литература

1. Яковченко А.В., Снитко С.А., Собхи Хасан. Экспериментальные исследования силовых параметров и совершенствование процессов штамповки колесных заготовок // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. – Краматорськ, 2006. – С. 302 – 306.
2. Снитко С.А., Яковченко А.В., Ивлева Н.И. Метод совершенствования калибровок, освоенных в условиях промышленного производства штампованно-катаных колес // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. – Краматорськ, 2007. – С. 211 – 216.
3. Яковченко А.В., Снитко С.А., Собхи Хасан. Новые технологические схемы и калибровки для производства колес из точных и уменьшенных по массе заготовок // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Луганськ, 2005. – С. 100–107.
4. Снитко С.А., Яковченко А.В., Ивлева Н.И. Математическая модель процесса штамповки колесных заготовок // Наукові праці ДонНТУ. Металургія: Зб. наук. пр. – Донецьк, 2007. – Вип. 9 (122). – С. 156 – 165.
5. Яковченко А.В., Луговой А.В., Ивлева Н.И. Разработка нового способа прокатки черновых колес // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. – Краматорськ, 2004. – С. 504–507.
6. Пат. 2073577 Россия, МПК6 В21 Н 1/04. Способ прокатки изделия типа колес. А.А. Коньшев, Б.Ф. Антипов, С.А. Королев и др. (Россия) – № 94041509/08; Заявл. 16.11.1994; Опубл. 20.02.1997. – 6 с.: ил.
7. Яковченко А.В., Луговой А.В., Ивлева Н.И. Экспериментально-теоретический метод компьютерного проектирования калибровок для прокатки железнодорожных колес // Металл и литье Украины. – 2004. – № 1–2. – С. 59–63.
8. Шифрин М.Ю. Резервы производительности и выхода годного при прокатке колес. – М.: Металлургия, 1989. – 144 с.
9. Производство железнодорожных колес / Г.А. Библик, А.М. Иоффе, А.В. Праздников и др. – М.: Металлургия, 1982. – 232 с.
10. Пат. 2082081 Россия, МПК6 G01B7/12, В21С51/00. Измеритель внутреннего диаметра обода железнодорожного колеса при прокатке. Ю.Г. Гончаров, Ю.В. Черников, М.М. Дмитриев, Ю.И. Кузякин. (Россия) – № 5067467/28; Заявл. 07.08.1992; Опубл. 20.06.1997. – 8 с.: ил.

© Снитко С.А. 2008