

# РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ И ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС С ВЫСОКИМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Кушнарев А.В.\*

ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат», Свердловская обл., г. Нижний Тагил, Россия.

В результате реконструкции колесобандажного цеха производство железнодорожных колес на ОАО «НТМК» осуществляется по новой технологической схеме: получение непрерывнолитой заготовки; раскрой её на мерные краты; нагрев с использованием гидросбива окалины; черновая штамповка, совмещенная с осадкой, калибровкой и разгонкой; чистовая штамповка; прокатка штампованной поковки на колесопрокатном стане; прессовая гибка, правка и калибровка колеса. Черновые колеса подвергаются закалке и отпуску, полнопрофильной механической обработке, балансировке и дробеметному упрочнению диска. Одним из достижений современной технологии производства колес является применение приборного контроля наличия внутренних и поверхностных дефектов, а также размеров колес с помощью лазерных измерителей. Можно констатировать, что выбранная на ОАО «НТМК» технологическая схема производства железнодорожных колес разработана с учетом достижений мировых лидеров и получила дальнейшее развитие по основным переделам: выплавка, внепечная обработка и разливка стали; изготовление черновых колес; их финишная обработка и контроль качества.

Основной проблемой производства железнодорожных колес является повышение точности черновых колес с целью уменьшения припуска на механическую обработку. Решение этой проблемы связано с развитием известной технологической схемы и уточнением режимов черновой и чистовой штамповки на основе новых технических решений, обеспечивающих равномерное радиальное течение металла по периметру поковки и высокую точность размеров обода, диска и ступицы поковки. В этом случае при прокатке удастся минимизировать величину эксцентриситета ступицы и обода, повысить точность размеров черного колеса после прессовой гибки, правки и калибровки. Анализ влияния технологических параметров на точность колес и выбор рациональной технологической схемы штамповки и прокатки с целью уменьшения припусков на обточку могут быть ускорены, если применять математическое моделирование

процессов штамповки для исследования особенностей формоизменения металла.

Другая важная проблема отечественного производства колес связана с повышением их эксплуатационных характеристик и уровня механических свойств. В частности, твердость обода колеса должна быть в диапазоне (320 – 360) НВ, а износостойкость и долговечность должны увеличиться в 1,5 раза. Успехи в решении этой проблемы связаны с выбором оптимального химического состава стали и рациональных режимов деформации и термообработки колес.

## 1. Разработка и исследование новых способов изготовления колес

Известные технологические схемы производства железнодорожных колес основаны на применении 2 – 4 переходной штамповки заготовки и последующей её прокатки на колесопрокатном стане. Технологические операции обработки литых заготовок на прессах связаны с осадкой на плоских штампах, калибровкой поковки в подвижном калибровочном кольце и разгонкой металла с целью формирования диска и обода. Особенностью формоизменения металла в процессе операции осадки, калибровки и разгонки является наличие свободных, не ограниченным воздействием инструмента, поверхностей. Поэтому в зависимости от степени отклонения фактических размеров литой заготовки от номинальных, точности настройки штамповой оснастки и точности укладки заготовки в штампах наблюдается неравномерное радиальное течение металла, которое приводит к тому, что масса металла по периметру поковки распределяется неравномерно. В дальнейшем поковка подвергается чистовой штамповке, точность которой в основном зависит от точности черновой поковки, а также точности укладки поковки в чистовых штампах.

Исследование и разработка новых способов штамповки непрерывнолитых заготовок направлено на уменьшение числа технологических операций и повышение точности поволоков. Примером инновационного решения процессов черновой и чистовой штамповки является способ фирмы «SMS - EUMUCO» (рис. 1).

\* научный консультант профессор, д.т.н. Богатов А.А.

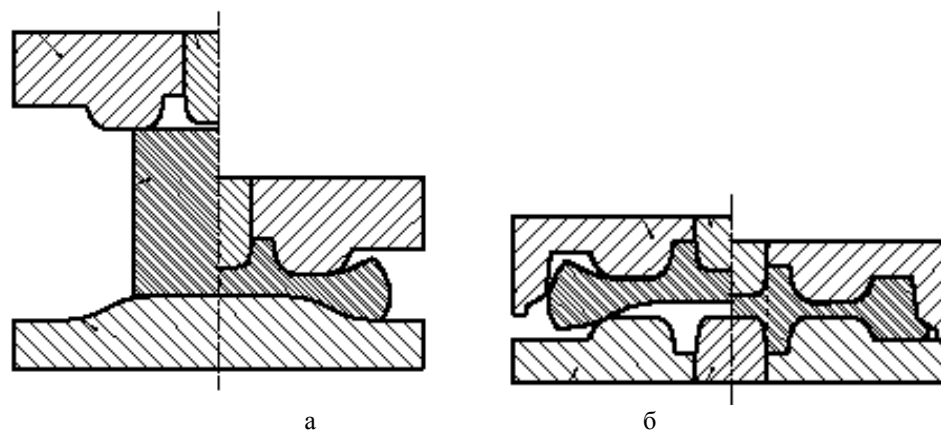


Рис. 1. Схема черновой (а) и чистовой (б) штамповки по способу «SMS - EUMUCO»

Способ заключается в формировании поковки при черновой штамповке на прессе 50 МН (рис. 1а) и получение заготовки для колесопрокатного стана путем чистовой штамповки на прессе 90 МН (рис. 1б). Особенность способа заключается в том, что при черновой штамповке формируется односторонняя ступица. Для уменьшения силовых параметров при черновой штамповке радиальное течение металла практически не ограничивается. В результате теоретического исследования формоизменения металла при черновой и чистовой штамповке было установлено, что различие максимального и минимального радиусов поковки достигало 7 мм, а толщины обода до 12 мм (рис. 1а). В опытах при освоении процесса черновой штамповки по способу SMS – EUMUCO эти различия на отдельных поковках превышали вычисленные значения в два раза и составляли соответственно 14 мм и 21 мм. В расчетах было принято, что непрерывнолитая заготовка имела отклонения от идеального цилиндра: овальность заготовки принята равной  $\Delta D = 6,5$  мм; косина реза на обоих торцах  $s = 5$  мм. Кроме того, заготовка была смещена от оси штамповой оснастки на 3 мм. Несоосность верхнего и нижнего штампов отсутствовала. Предполагалось, что настройка прессы R 9000, а также точность укладки заготовки в штампах при чистовой штамповке не имеют отклонений. Практически не удается исключить несоосность штамповой оснастки на обоих прессах и неточность укладки поковки в штампах прессы R 9000. Промышленное опробование рассмотренного способа штамповки подтвердило отрицательное влияние на качество черновых колес калибровки прессы R 5000. Отсутствие калибровочного кольца стимулирует асимметричное радиальное течение металла и предопределяет неравномерное

распределение массы обода поковки по периметру. Формирование односторонней ступицы поковки при черновой штамповке при несоосности заготовки и штампов способствует образованию эксцентриситета ступицы и обода поковки. Поэтому даже в случае идеальной настройки прессы R 9000 и абсолютно точной укладки черновой поковки в штампах величина эксцентриситета ступицы и обода поковки сохраняется, а в дальнейшем при прокатке поковки на колесопрокатном стане это приводит к значительному радиальному и торцевому биению заготовки. В результате это приводит к забракованию черновых колес по невыполнению гребня обода, закатам, не оформлению ступицы и т.п. Минимальное значение брака по черновым колесам в начальный момент освоения технологии составило 24,6%.

Разработка и освоение нового способа штамповки, основанного на использовании плоских штампов и подвижного калибровочного кольца (рис. 2) [1], а также увеличение массы непрерывнолитой заготовки позволили снизить брак по колесам до 1 – 1,5%. Теоретическое исследование формоизменения металла при черновой штамповке (рис. 2а) позволило установить зависимость показателя неравномерности радиального течения металла по периметру поковки в зависимости от угла наклона образующей калибровочного кольца к его оси  $\alpha$ , а также коэффициента трения. Уменьшение коэффициента трения и увеличение угла  $\alpha$  способствуют повышению осевой симметрии черновой поковки.

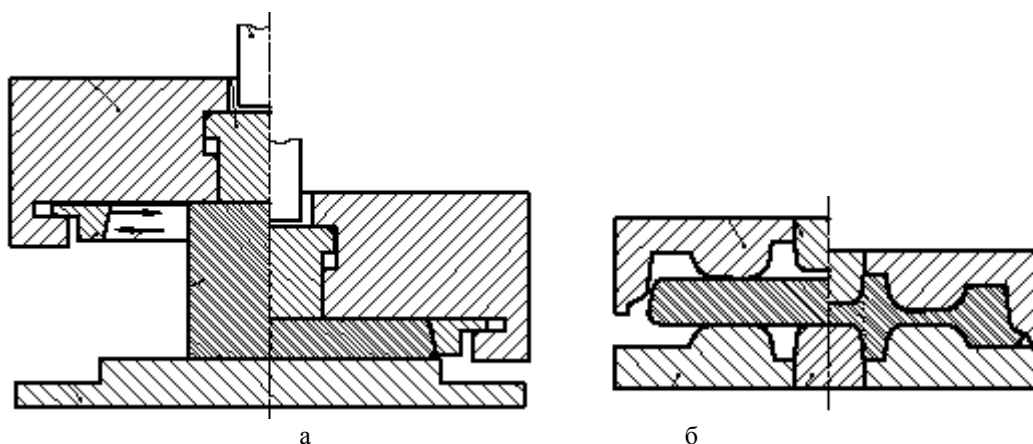


Рис. 2. Схема осадки заготовки на плоских штампах с калибровочным кольцом (а) и окончательной штамповки (б)

При удовлетворении требования соосности штампов при настройке пресса и высокой точности укладки поковки в штампах пресса R 9000, как показали теоретические исследования, можно обеспечить осевую симметрию чистовой поковки и повысить точность чернового колеса после прокатки. Однако, практически эти требования не удается выполнить в полной мере. Точность укладки черновой поковки в штампах зависит от работы робота-манипулятора и его настройки в соответствии с программой автоматического управления прессопрокатной линии. Установлено, что периодические случаи увеличения брака колес по прокату в основном связаны с неудовлетворительной работой робота-манипулятора, передающего черновую поковку от пресса R 5000 к прессу R 9000. Для нового способа штамповки заготовки характерно преждевременно формирование ступицы колеса при чистовой штамповке. До этого момента имеют место рациональные потоки металла в ступицу и в обод чистовой поковки, благодаря этому сравнительно низкое значение силы штамповки. После завершения процесса формирования ступицы наступает одностороннее радиальное течение металла, сопровождаемое резким увеличением значения силы чистовой штамповки. Асимметрия радиальной составляющей трения, а также увеличение коэффициента трения стимулируют появление эксцентриситета ступицы и обода чистовой поковки. Многочисленные факторы, связанные с отклонением размеров заготовки от номинальных, с неточностью настройки верхнего и нижнего штампов обоих прессов, а также неточность укладки заготовки в штампах, предопределяют возникновение эксцентриситета обода относительно ступицы чернового колеса. Радиальное биение обода чернового колеса может

достигать до 9-12 мм, а торцевое – до 3-5 мм. Это обстоятельство необходимо учитывать при назначении припуска на полнопрофильную мехобработку колеса и расчете массы исходной заготовки.

На комбинате совместно с УрФУ был разработан способ штамповки заготовок, обеспечивающие самоцентрирование черновой поковки в штампах пресса R 9000. Отличительной особенностью способа является то, что при черновой штамповке совмещены операции осадки, калибровки поковки в калибровочном кольце и разгонки металла в обод путем предварительного формирования диска. Эти идеи развития процесса штамповки были положены в основу заявки на изобретение «Способ изготовления цельнокатанных железнодорожных колес», по которой получен патент [2]. Отличительной особенностью нового способа является получение при черновой штамповке торообразного выступа с размерами, соответствующими размерам нижнего штампа для чистовой штамповки, благодаря чему черновая поковка центрируется в чистовых штампах, тем самым повышается точность чистовой поковки.

Сравнительный теоретический анализ формоизменения металла при черновой штамповке по новым способам [1,2] осуществлялся для непрерывнолитой заготовки с градиентом температуры по высоте  $50^{\circ}\text{C}$ , с овальностью  $\Delta D = 6,5$  мм, косиной реза на обоих торцах  $s = 5$  мм и смещением ее от оси штампов на 3 мм. Поле скоростей течения металла показано на рис. 3: а, в, д – черновая штамповка в плоских штампах с подвижным калибровочным кольцом; б, г, е – в профилированных штампах с неподвижным кольцом.

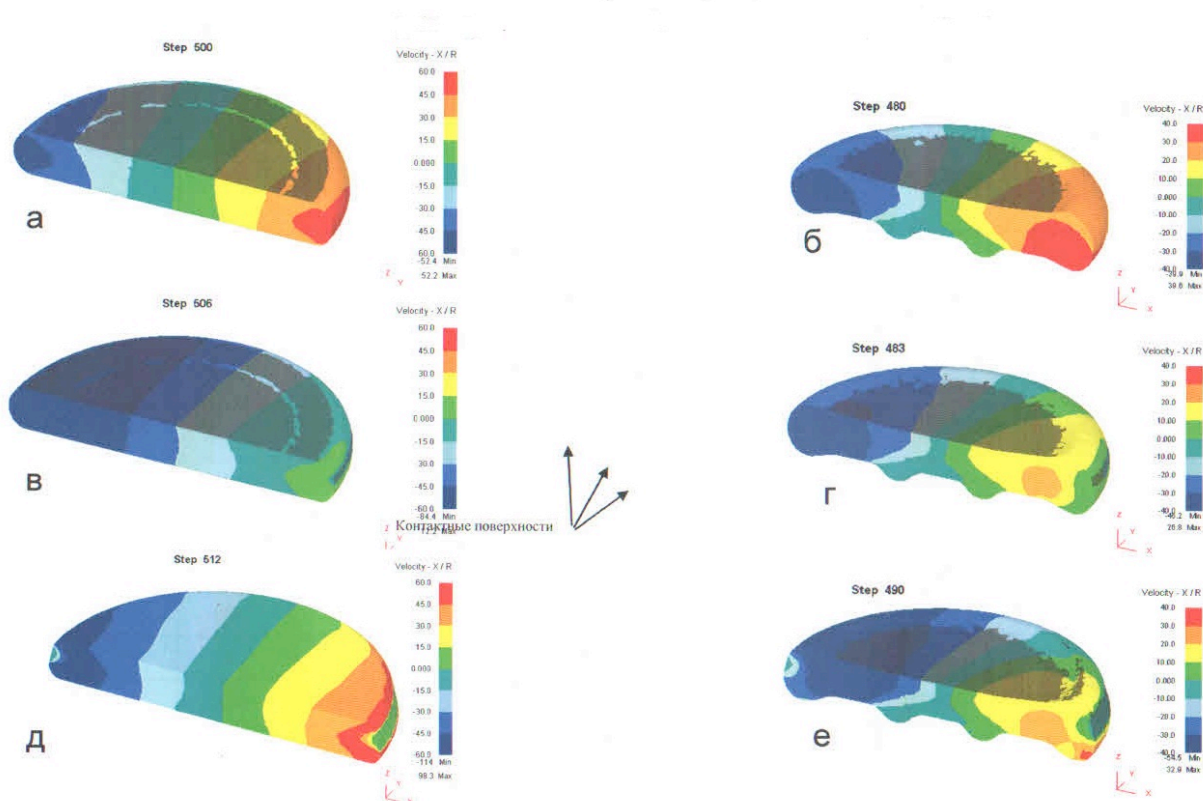


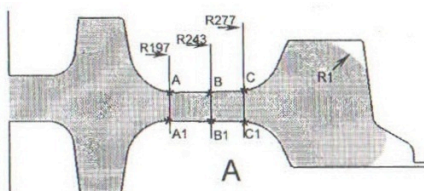
Рис. 3. Формоизменение и поле скоростей непрерывнолитой заготовки при двух способах черновой штамповки

Начальная стадия осадки заготовки, как показывает поле скоростей, характеризуется осесимметричной деформацией без исправления геометрических нарушений очага деформации (рис. 3а и 3б). На второй стадии с момента одностороннего контакта калибровочного кольца с заготовкой происходит его перемещение, поэтому несоосность заготовки и плоских штампов не оказывает влияние на симметрию очага деформации в заключительной стадии черновой штамповки. Однако, косина реза на заготовке в случае подвижного калибровочного кольца усугубляет асимметрию очага деформации и на штампах наблюдается одностороннее течение металла (рис. 3в). При неудовлетворительной смазке штампов на этой стадии затруднительно получить осесимметричную поковку. Тем не менее на третьей стадии калибровки деформация характеризуется осевой симметрией, а недоштамповка поковки уменьшается до минимума (рис. 3д). На второй стадии осадки в профилированных штампах с неподвижным калибровочным кольцом также наблюдается одностороннее течение металла относительно штампов. Уменьшение напряжений трения на штампах благоприятно сказывается на восстановлении осевой симметрии очага деформации в конце второй, вначале третьей стадии осадки, достижение которой свидетельствует о получении высокоточной поковки с симметричным расположением торообразного выступа и обода черновой поковки (рис. 3а). Отметим, что продолжительность процесса черновой штамповки в профилированных штампах по сравнению с плоскими штампами на 20% меньше.

Анализ формоизменения металла при чистовой штамповке осуществлялся при условии соблюдения строгой соосности верхнего и нижнего штампов и точной укладки черновой поковки на нижний чистовой штамп перед деформацией. Чистовая поковка при математическом моделировании получилась осесимметричной, если этому условию соответствовала черновая поковка. Это условие легко было выполнить для черновой поковки по способу 2 (рис. 3е), так как форма и размеры одной из сторон поковки соответствовали размерам нижнего чистового штампа, а укладка поковки осуществлялась с машиностроительной точностью, то есть точностью определенной чертежом нижнего штампа. По способу 1, когда черновую поковку получают на плоских бойках (рис. 3д), центрирование поковки обеспечивает манипулятор, основной функцией которого является транспортировка черновой поковки от прессы R 5000 к прессу R 9000. Точная укладка черновой поковки на нижнем чистовом штампе практически невозможна. Поэтому при чистовой штамповке наблюдается неравномерное радиальное течение металла и чистовая поковка имеет эксцентриситет ступицы и обода, который при последующей прокатке увеличивается. В табл. 1 и табл. 2 представлены результаты теоретического анализа процесса чистовой штамповки черновых поволоков, полученных соответственно по способам 1 и 2. При чистовой штамповке радиальная составляющая вектора скорости частиц металла в области диска поковки является положительной, если частица перемещается к ободу, или отрицательной, если частица перемещается к ступице.

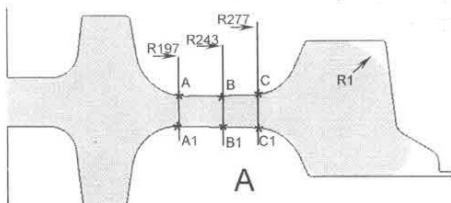


Таблица 1



$\delta$	65.1	55.9	46.2	36.5	26.7	17.6	13.2	9.1	4.5	0
$R_H$ , мм	200	210	210	211	209	205	201	0	0	0
$R_1$ , мм								150	100	25
$P$ , тс	0,56	0,84	1,07	1,31	1,51	2,07	2,49	3,46	4,84	7,4
$\sigma_H$ , МПа	A/A1	25/27	44/40	47/43	52/49	63/58	73/70	88/88	104/104	127/120
	B/B1	29/27	37/36	44/43	52/49	61/61	75/74	87/86	94/93	126/125
	C/C1	28/28	35/30	38/30	41/38	53/56	62/66	61/59	81/60	95/91
$V_x$ , мм/сек	A/A1	-1/-1	-1/-1	-1/-1	-1/-1	-1/-1	-1/-1	-1/-1	21/26	23/26
	B/B1	1/1	1/1	1/1	1/1	2/2	4/4	7/6	29/27	31/30
	C/C1	5/4	5/4	5/4	7/6	9/8	10/8	12/9	27/26	28/28
$\Theta$ , °C	A/A1	780/800	730/745	715/715	715/700	715/690	725/690	730/690	740/730	775/780
	B/B1	810/810	750/750	730/720	720/700	710/710	720/720	720/720	720/720	705/700
	C/C1	970/910	880/800	790/780	790/770	780/760	780/760	780/750	770/740	760/740
$\tau$ , сек	1.25	2.18	3.14	4.12	5.10	6.01	6.44	6.85	7.31	7.77

Таблица 2



$\delta$	51,5	33,0	24,9	20,6	13,5	7,2	4,1	2,0	0,0
$R_H$ , мм	201	207	209	214	214	214	202	0	0
$R_1$ , мм					60	50	45	40	25
$P$ , тс	0,67	1,05	1,20	1,39	1,73	2,20	3,27	5,14	6,7
$\sigma_H$ , МПа	A/A1	34/33	55/50	63/56	72/70	82/82	102/93	132/128	165/166
	B/B1	35/30	47/42	51/46	63/58	76/74	93/89	110/108	134/134
	C/C1	31/29	38/47	48/50	49/44	59/50	66/81	83/96	65/90
$V_x$ , мм/сек	A/A1	0/0	0/0	0/0	0/0	-0.5/0	-0.5/0	0/0	26/28
	B/B1	0/2	0/4	1/6	0/4	1/3	4/4	9/8	33/33
	C/C1	3/4	5/7	4/9	5/9	7/11	12/11	14/16	34/34
$\Theta$ , °C	A/A1	850/780	720/750	710/730	710/740	710/730	710/730	710/740	730/760
	B/B1	805/805	715/730	705/730	705/750	705/775	710/805	705/815	705/805
	C/C1	800/835	800/750	770/735	775/735	775/735	775/735	770/750	760/765
$\tau$ , сек	1,4	3,24	4,06	4,37	5,09	5,72	6,02	6,25	6,44

Можно указать для материальной частицы координату  $r = R_n$ , для которой радиальная составляющая вектора скорости  $v_r = 0$ , а значение  $R_n$  называется радиусом нейтрального сечения. Качество формоизменения металла при чистовой штамповке характеризуется радиусом оформления обода с передней стороны колеса  $R_1$ . Важными характеристиками процесса чистовой штамповки являются нормальное напряжение и температура диска поковки, а также сила штамповки. Особую ценность представляют закономерности изменения указанных целевых функций от величины недоштамповки  $\delta$  и соответствующей ей значению времени штамповки  $T$ . Сравнивая характеристики процесса (табл.1, табл. 2) в зависимости от формы черновой поковки отметим следующее: для черновой поковки 1, полученной на плоских штампах, радиус нейтрального сечения изменяется от 200 мм до 211мм в зависимости от величины недоштамповки, а при  $\delta = 13,1$  мм завершается оформление ступицы, радиус  $R_n = 0$ , а радиальная составляющая всех частиц в очаге деформации  $v_r > 0$ , все частицы перемещаются к ободу поковки. С этого момента резко возрастает сила штамповки  $P$  и нормальное напряжение на диске поковки  $\sigma_n$ . Такой характер  $\sigma_n$  и  $P$  от  $\delta$  объясняет наблюдаемое на практике образование заусенца в области ступицы, который образуется в результате затекания металла в зазор между деталями штамповой оснастки. Следует отметить, что радиус оформления обода штамповки с наружной стороны при  $\delta = 9,5$  мм и  $\delta = 4,5$  мм имеет большое значение соответственно 150 мм и 100 мм.

При использовании фигурной черновой поковки (рис. 3е) одностороннее течение металла, соответствующее  $R_n = 0$ , начинается при  $\delta = 2,6$  мм. Поэтому лучшим образом идет оформление обода колеса ( $R_n \leq 60$  мм, начиная со значения  $\delta = 13,5$  мм), а сила штамповки меньше чем в предыдущем случае. Важным показателем преимущества черновой поковки (рис. 3е) по сравнению с поковкой (рис. 3д) является сокращение времени чистовой штамповки с 7,77 с до 6,44 с. Температура металла в диске в обоих сравниваемых вариантах оказалась одинаковой, а нормальное напряжение на диске несколько ниже у варианта по второму способу черновой штамповки.

## 2. Исследование и модернизация способов штамповки повок для производства железнодорожных колес диаметром 1250 мм

Перед металлургами ОАО «НТМК» поставлена важная задача разработки технологии и

освоения производства цельнокатаных колес диаметром 1250 мм для локомотивов. В настоящее время их изготавливают с использованием бандажей. С ростом эксплуатационных нагрузок, особенно значительных изменений температуры в экстренных условиях торможения и пробуксовки снижается эксплуатационная надежность бандажированных колес. Теоретическое исследование возможности изготовления колес на прессопрокатной линии осуществлялось при условии сохранения диаметра непрерывнолитой заготовки  $d_3 = 430$  мм. По принятым в настоящее время нормам расхода металла на технологических переделах, начиная от нагревательной печи и кончая полнопрофильной мехобработкой колеса, высота заготовки принята равной 925 мм, что при температуре 1275 °С с учетом двухпроцентной потери массы с окалиной, соответствует объему заготовки, равной  $V_0 = 0,139846 \text{ м}^3$ . Учитывая характерную для производителей тенденцию применять заготовку повышенной массы исследование технологии дополнительно осуществлялось и для случая объема заготовки  $V_a = 1,02V_0$ . Основной целью исследования являлся

поиск инженерных решений оптимизации формоизменения заготовки на прессах R 5000 и R 9000, обеспечивающих высокую надежность черновой и чистовой штамповки с учетом ограничения силовых параметров для штамповочных прессов. Кроме того, была поставлена задача проанализировать влияние калибровки черновых штампов на прессе R 5000, а также величины недоштамповки на прессе R 9000 на формоизменение и силовые параметры штамповки. Для этого помимо рассмотренных выше калибровок черновых штампов по способам (1,2) были разработаны две новые калибровки с применением компенсаторов избыточного объема металла. Результаты исследования влияния компенсаторов массы на силовые параметры процесса имеют важное значение для конструирования чистовых штампов. Для разработки рациональных способов настройки оборудования штамповочных прессов и прокатного стана требуется найти оценки влияния на точность чернового колеса несоосности верхнего и нижнего штампов, отклонения формы и размеров непрерывнолитой заготовки от формы идеального цилиндра, а также смещение заготовки от оси нижнего штампа при ее укладке. Результаты исследования неравномерности распределения массы по периметру черновой чистовой поковки, а также чернового колеса следует использовать для уменьшения припуска на полнопрофильную механическую обработку и обеспечение экономии металла за счет уменьшения массы заготовки.

Математическое моделирование формоизменения заготовки при черновой и чистовой штамповке осуществляли для десяти вариантов. Первые шесть вариантов V1, V1a, V2,

V2a, V3 и V3a отличались друг от друга формой черновой поковки (1,2,3), а также объемом исходной заготовки  $V_0 = 0,139846 \text{ м}^3$  и  $V_a = 1,02 V_0$ . Для четырех последних вариантов моделирование процесса штамповки объем исходной заготовки принят равным  $V_a = 1,02 V_0$ . Отличие от первых шести вариантов заключалось в использовании двух новых форм черновой поковки, причем для вариантов 4a и 5a использовался инструмент деформации с компенсаторами объема металла в ступице и в конусовидном диске на чистой поковке, а для вариантов 4 и 5 – только в конусовидном диске. Результаты моделирования представлены в табл. 3 и на рис. 4 и 5.

Анализ полученных результатов по формоизменению и силовым параметрам штамповки позволяет сделать следующие выводы:

1. При ограничении силы черновой штамповки  $P = 40 \text{ МН}$  величина недоштамповки поковки существенно зависит от конструкции штампов. На плоских штампах (V1) с объемом  $V_0$  она составляет 2,8 мм, а с объемом  $1,02V_0$  – 5,3 мм. Для штампов

(V2) недоштамповка составляет 4 мм и 6 мм, а для штампов (V3) – 4,5 мм и 5,8 мм соответственно. Недоштамповка поковок, полученных из заготовки с увеличенным объемом ( $1,02V_0$ ) на штампах (V4) и (V5), составляет 3,6 мм и 4,0 мм;

2. Увеличение объема исходной заготовки на 2% при одинаковой величине недоштамповки на прессе R9000 и ограничении силы штамповки в диапазоне 80...85 МН приводит к росту диаметра чистой поковки по гребню  $d_r$  на 20...25 мм, при этом отношение  $d_r/D_{иг}$  изменяется от 0,95 до 0,975, где диаметр формовочного кольца по гребню  $D_{иг} = 1227,2 \text{ мм}$ ;

3. Наилучшие результаты как по величине недоштамповки (0,0...0,5 мм), так и по силе чистой штамповки (менее 80 МН) получены с использованием черновых поковок (V4) и (V5) и чистовых штампов с компенсаторами избыточного объема металла на диске и ступице поковки (4a и V5a).

Таблица 3

Влияние калибровки черновых штампов (пресс 50 МН) и избыточной массы заготовки на формоизменение металла и силовые параметры чистой штамповки

Недоштамповка $\delta$ , мм		4,0	3,0	2,0	1,0	0,0
V1	$d_2/d_{иг}$	0,929	0,931	0,934	0,940	0,947
	$P$ , МН	70	78	81	85	106
V1a	$d_2/d_{иг}$	0,940	0,945	0,952	0,961	0,971
	$P$ , МН	89	93	101	110	121
V2	$d_2/d_{иг}$	0,922	0,929	0,934	0,940	0,949
	$P$ , МН	77	84	86	94	98
V2a	$d_2/d_{иг}$	0,939	0,945	0,953	0,962	0,971
	$P$ , МН	89	93	103	110	119
V3	$d_2/d_{иг}$	0,932	0,937	0,940	0,947	0,955
	$P$ , МН	58	60	62	68	83
V3a	$d_2/d_{иг}$	0,944	0,949	0,955	0,962	0,971
	$P$ , МН	64	75	85	102	111
V4	$d_2/d_{иг}$	0,939	0,942	0,947	0,952	0,960
	$P$ , МН	56	64	76	82	93
V4a	$d_2/d_{иг}$	0,939	0,944	0,947	0,953	0,960
	$P$ , МН	58	61	66	72	80
V5	$d_2/d_{иг}$	0,939	0,944	0,949	0,955	0,962
	$P$ , МН	58	65	74	83	90
V5a	$d_2/d_{иг}$	0,940	0,944	0,949	0,955	0,962
	$P$ , МН	56	59	64	71	76

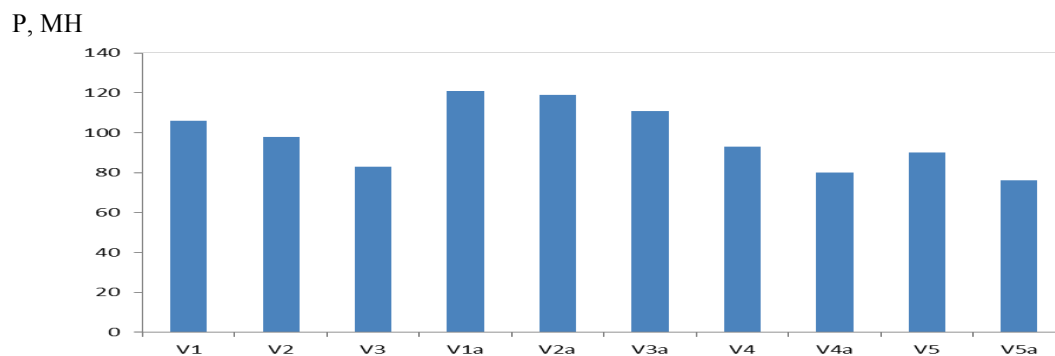


Рис. 4. Сила чистовой штамповки в зависимости от калибровки инструмента деформации

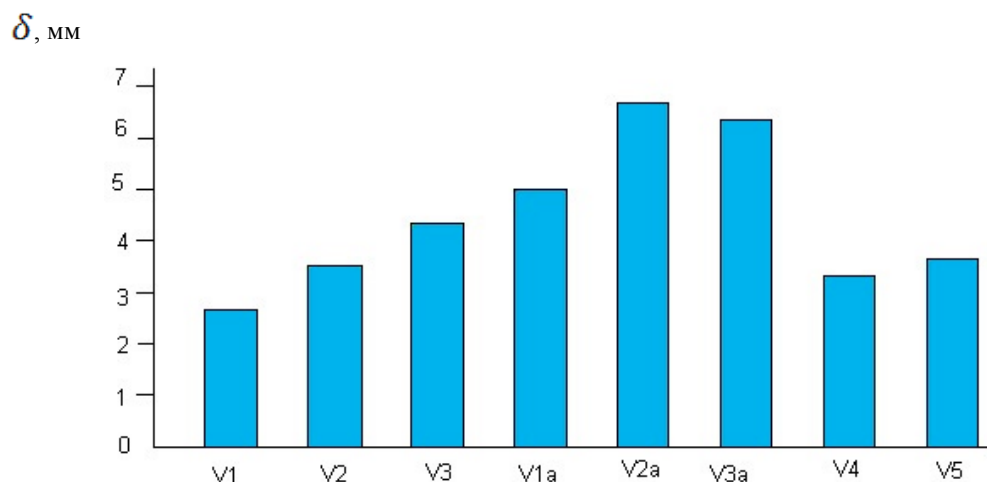


Рис. 5. Зависимость величины недоштамповки металла на прессе R5000 при силе  $P = 40$  МН от калибровки инструмента

### 3. Формоизменение металла при прокатке колес на колесопрокатном стане.

Очаг деформации образуется при обжатии штампованной поковки двумя эджерными

приводными и одним нажимным не приводным валком (рис. 6).

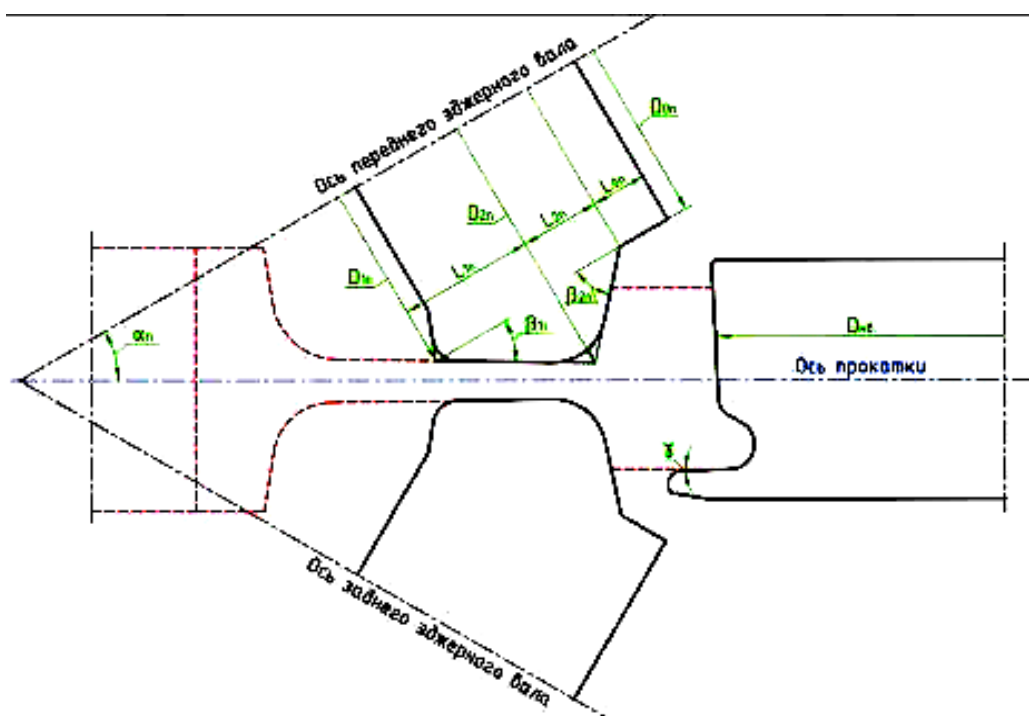


Рис. 6. Положение эджерных и нажимного валков при прокатке заготовки колеса на колесопрокатном стане



В результате обжатия уменьшается высота обода, толщина диска заготовки у обода и увеличивается ее диаметр до требуемых значений, окончательно формируется поверхность катания и гребень колеса. В формоизменении обода колеса дополнительно участвуют два конусных неприводных валка, обеспечивающих требуемую ширину обода. Кроме того, в процессе прокатки участвуют два центрирующих и два поддерживающих валки с механизмом радиальной настройки, работа которого согласована с увеличением диаметра заготовки в процессе прокатки. Отличительной особенностью нового способа является вертикальное положение колеса при прокатке, вследствие этого уменьшается

вероятность появления такого дефекта, как вкатанная окалина.

В результате теоретического и экспериментального исследования процесса прокатки были установлены наиболее важные закономерности течения металла и на их основе определены рациональные режимы прокатки, при которых обеспечивается высокая точность и чистота поверхности черновых колес.

Одним из наиболее важных параметров процесса прокатки является выбор оптимального значения величины раскатки поковки по внутреннему диаметру ( $\Delta D / 2$ ) (рис. 7).

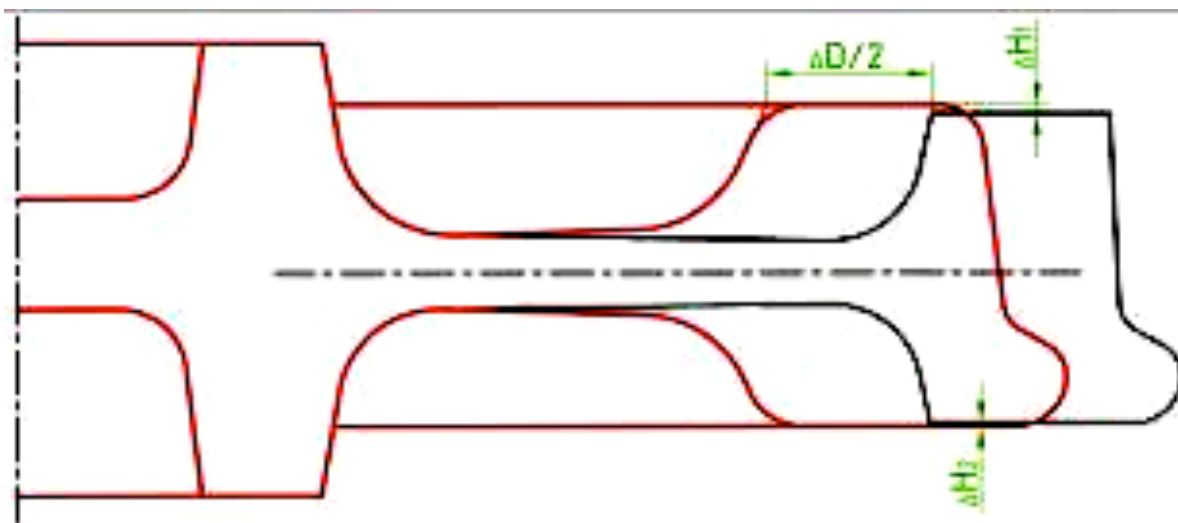


Рис. 7. Форма штампованной поковки и прокатанной заготовки колеса

С одной стороны, уменьшение величины раскатки, достигаемое за счет увеличения диаметра поковки после пресса R 9000, целесообразно, т.к. приводит к повышению производительности прокатного стана и точности прокатанной заготовки. Однако величина ( $\Delta D / 2$ ) должна быть достаточной для полного оформления обода заготовки и выкатки всех его элементов равномерно по периметру с заданной точностью. Это особенно важно при производстве заготовок колес малого диаметра. Оптимальная величина раскатки при производстве колеса диаметром 957 мм составляет  $\Delta D / 2 = 70$  мм. Исходя из этого определяется внутренний диаметр штампованной заготовки и, соответственно, наружный диаметр формовочных штампов пресса R 9000.

Исследование закономерностей течения металла при прокатке позволило установить оптимальное отношение площадей поперечных сечений ободов штампованной поковки (а) и заготовки колеса после прокатки (б) относительно

оси прокатки:  $\frac{V_1'}{V_1} = \frac{V_2'}{V_2}$  (рис. 8).

При выполнении этого соотношения обеспечиваются рациональные потоки, а нейтральная линия схемы течения металла совпадает с осью прокатки. Благодаря этому уменьшается вероятность переполнения ручья нажимного валка и, как следствие, образование заката или, наоборот, невыполнение гребня по периметру обода.

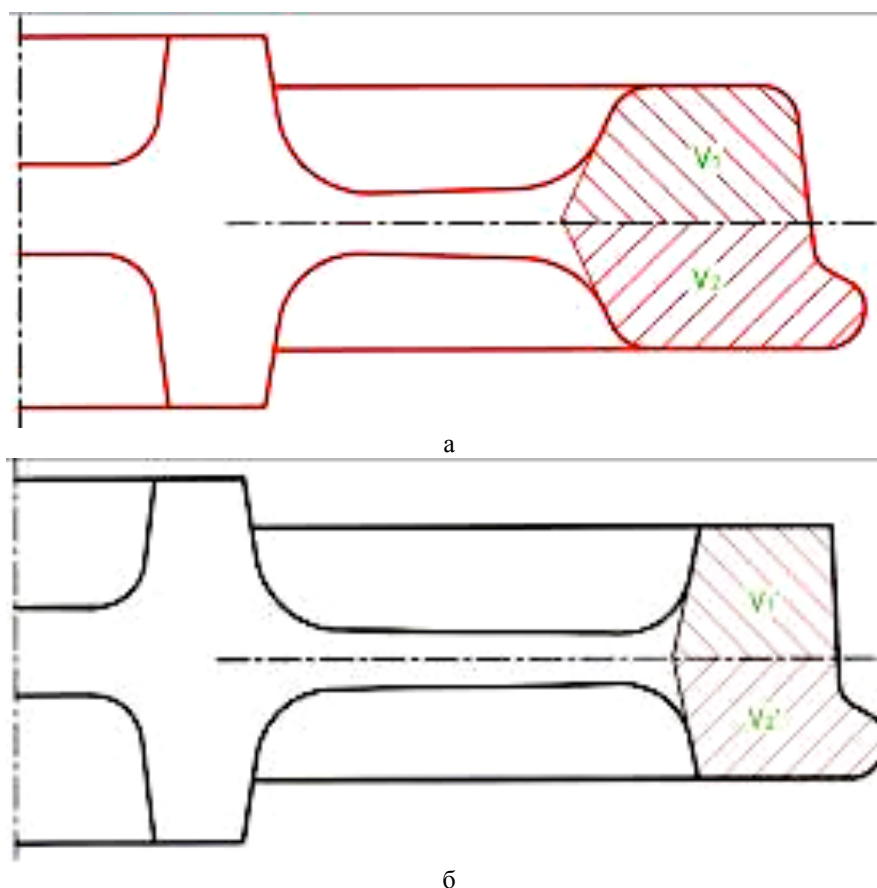


Рис. 8. К вопросу обеспечения рациональных потоков металла при прокатке штампованной поковки (а) до требуемых размеров заготовки (б) черного колеса

Ширина и толщина обода штампованной поковки оказывает существенное влияние на течение металла прокатываемой заготовки, производительность колесопрокатного стана и качество черновых колес. Стремление уменьшить силовые параметры процесса чистовой штамповки и повысить стойкость инструмента прессы R 9000 можно удовлетворить увеличением высоты периферийной полости формовочного штампа и неполным ее заполнением металлом. Это приводит к неравномерному распределению значений толщины и ширины обода по периметру. Передний конусный валок из-за сужения обода к торцу передней стороны осуществляет большее обжатие, чем с задней:  $\Delta H_1 > \Delta H_2$  (рис. 7). При неоптимальном отношении обжатий  $\Delta H_2 / \Delta H_1$  и нерациональном значении высоты полости формовочного штампа прессы R 9000 наблюдается неравномерное по периметру обода распределение значений его ширины и высоты. Этому способствуют неравномерность температуры обода и условий трения из-за износа штампа по периметру поковки. Разноширинность и разнотолщинность обода поковки приводят при прокатке к овальности и появлению повышенного эксцентриситета обода относительно ступицы. В процессе освоения прессопрокатной линии была установлена оптимальная высота периферийной полости формовочного штампа прессы R 9000 из условия достижения отпечатка на торце формируемого обода

требуемой величины. Для исключения переполнения периферийной полости формовочного штампа прессы R 9000 и образования заусенца диаметр формовочного кольца по гребню принимают на 40 мм больше диаметра поковки по вершине гребня. Суммарная величина обжатия обода при прокатке по ширине  $(\Delta H_1 + \Delta H_2) = 5 \dots 8$  мм, как показали промышленные исследования, является достаточной для полной выкатки торцев обода на колесопрокатном стане, а рациональным значением отношения абсолютных обжатий с задней и передней сторон поковки является величина  $\Delta H_2 / \Delta H_1 = 0,1 \dots 0,3$ .

При выборе оптимальных режимов прокатки поволоков на колесопрокатном стане необходимо учитывать некоторые конструктивные особенности стана, а также диапазон управления технологическими параметрами. Колесопрокатный стан ОАО «НТМК» имеет девять валков, из них только два приводных – эджерные валки. В связи с этим надежность процесса захвата заготовки без пробуксовки зависит от рационального увеличения обжатия от нуля до заданного обжатия за оборот. При нерациональном характере возрастания обжатия в начальный период прокатки возможно совпадение участков обода с максимальным и минимальным обжатием при последующих оборотах заготовки, вследствие этого внутренняя поверхность обода становится овальной, а сам обод разнотолщинным. Эти изменения для

высокоточной поковки невелики. Если же в исходной заготовке (штампованной чистовой поковке) обод имеет неодинаковую ширину и толщину вследствие воздействия рассмотренных выше причин, то при раскатке его разнотолщинность и разноширинность будет увеличиваться вместе с ростом эксцентрисичности обода относительно ступицы черного колеса. Для устранения этих отклонений после окончательной раскатки заготовки применяют полировку обода при снижающихся от оборота к обороту обжатиях. Регулирование скорости увеличения диаметра за счет изменения величины обжатия за оборот и скорости вращения заготовки при раскатке на стане особое значение имеет при производстве заготовок колес с малым наружным диаметром, когда величина раскатки ограничена и мала. На рис. 9 представлен график рационального изменения скорости увеличения диаметра заготовки колеса с постоянным ее снижением к концу прокатки.

Особое значение для повышения точности черного колеса имеет настройка колесопрокатного стана. При установке эджерных приводных валков с помощью специального измерительного устройства и устройства контроля угловой настройки проверяется точность взаиморасположения валков. Максимальное отклонение в вертикальном и горизонтальном направлениях контрольных насадок допускается менее 0,2 мм. Настройка положения нажимного, эджерных, конических, поддерживающих и

центрирующих валков в момент окончания процесса прокатки осуществляется с помощью калибровочного колеса (рис. 10) и лазерного измерительного устройства, которое измеряет наружный диаметр прокатанного колеса. Все параметры калибровочной настройки заносятся в базу данных программного комплекса управления процессом прокатки колес.

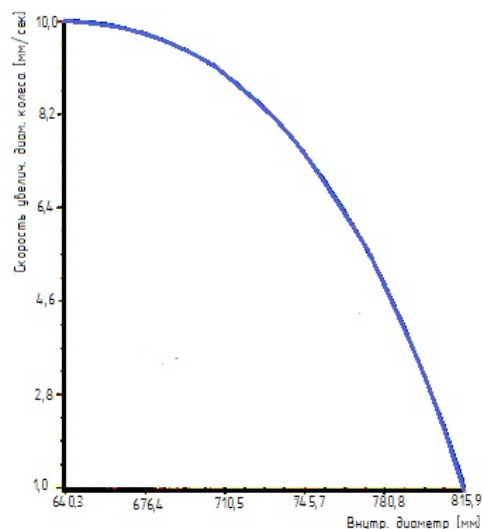


Рис. 9. Зависимость скорости увеличения диаметра колеса от величины внутреннего диаметра

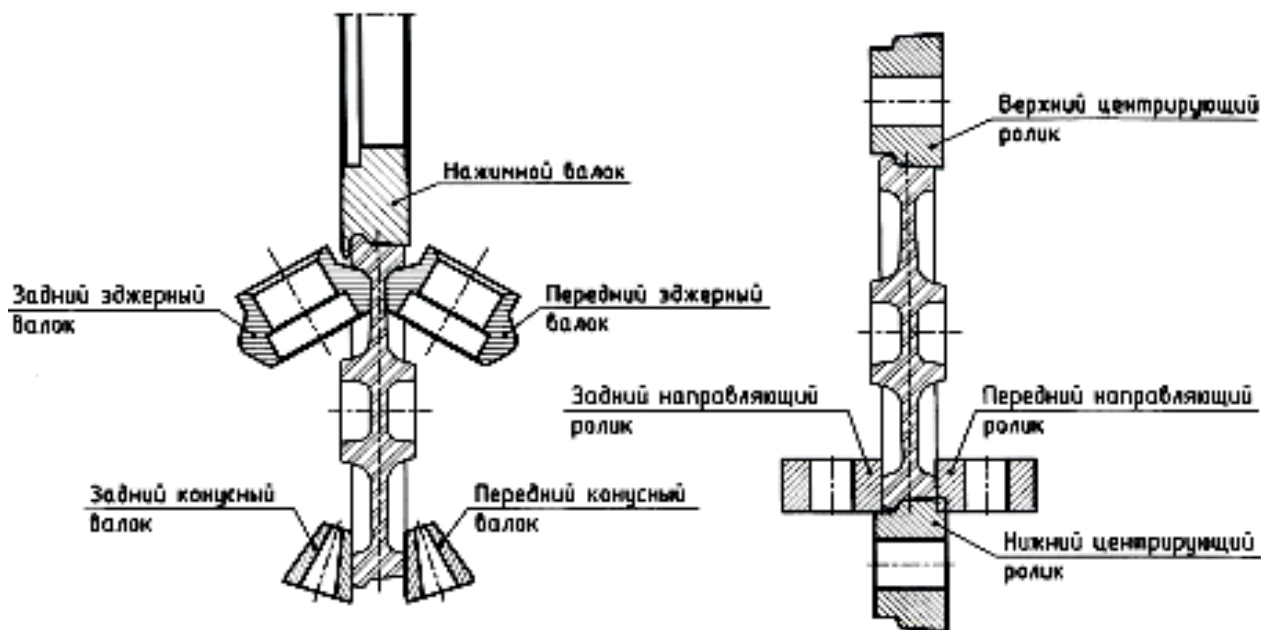


Рис. 10. Настройка валков колесопрокатного стана по эталонному калибровочному колесу

### Заключение

Повышение точности черновых колес с целью уменьшения припуска на полнопрофильную механическую обработку и массы заготовки является одной из актуальных задач современного производства. Решение этой задачи требует

комплексного подхода повышения точности непрерывнолитой резаной заготовки, разработки и освоения новой штамповой оснастки для прессов, обеспечивающих равномерное радиальное течение металла при черновой штамповке и самоцентрирование поковки в штампах для

чистой штамповки. Важное значение имеют настройка прессов и колесопрокатного стана, а также выбор рациональных режимов штамповки и прокатки [3 – 6]. Вторая актуальная проблема производства колес связана с повышением твердости обода колеса до 320 – 360 НВ и долговечности в 1,5 раза. Решение этих проблем и рекомендации по модернизации технологии производства колесной стали, внедрении рациональных режимов деформации на прессопрокатной линии, термообработки, полнопрофильной мехобработки и приборного контроля качества железнодорожных колес успешно внедрены на ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат».

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ № 22335375 от 1.08.2006. Патентообладатель ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» / авт. Кушнарев А.В., Киричков А.А., Шестак В.Д. и др.
2. Патент РФ № 2404009 от 21.04.2008. Патентообладатель ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» / авт. Кушнарев А.В., Богатов А.А., Киричков А.А., и др.
3. Современная технология производства транспортного металла / под научной редакцией А.В. Кушнарева и А.А. Богатова. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2008 г.
4. А.В. Кушнарев Разработка и теоретическое исследование новых способов изготовления железнодорожных колес на ОАО «НТМК». Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2009 г.
5. Кушнарев А.В., Богатов А.А., Кропотов В.А. Выбор рационального соотношения обжатий при штамповке и прокатке железнодорожных колес. / Производство проката, 2010, № 3, с. 21 – 25.
6. Кушнарев А.В., Богатов А.А., Кропотов В.А. Математическое моделирование черновой и чистой штамповки непрерывнолитых заготовок, используемых при производстве железнодорожных колес. / КШП. ОМД, 2010, № 1 с. 34 – 37.
7. Кушнарев А.В., Богатов А.А., Петренко Ю.П., Кропотов В.А. Исследование температуры и деформации в штампованных поковках при производстве железнодорожных колес. / Заготовительное производство в машиностроении, 2010, № 6, с. 16 – 21.
8. Кушнарев А.В., Васильев А.А., Шестак В.Д., Богатов А.А. Новый способ и рациональные режимы прокатки колес. / Сталь, 2010, № 5, с. 83 – 86.
9. Кушнарев А.В., Перунов Г.П., Киричков А.А. Исследование формоизменения и сопротивления деформации металла при производстве черновых колес. / Сталь, 2010, № 5, с. 86 – 90.