

## СПОСОБ ПРОКАТКИ ЛОКОМОТИВНЫХ БАНДАЖЕЙ НА ОДНОМ СТАНЕ

Изобретение относится к обработке металлов давлением и может быть использовано при прокатке локомотивных бандажей.

**Цель изобретения** – экономия электроэнергии, снижение затрат на валки, а также повышение качества изделий за счет улучшения геометрической точности профиля, исключение дефектов типа утяжки гребня и других элементов бандажа, устранение его коробления.

Известен способ прокатки бандажей (А.с. 1703232 (СССР), МКИ В21 Н 1/08. Способ изготовления кольцевых изделий с гребнем. - №4739977/27; Заявлено 25.09.89; Оpubл. 07.01.92, Бюл. №1), при реализации которого заготовку деформируют со смещением гребня в сторону противоположную гребневой торцевой поверхности. Величина смещения гребня равна 0,3-0,5 величины суммарного осевого обжатия заготовки в процессе прокатки.

Недостатком данного способа являются, во-первых, необходимость изготовления фасонной нижней плиты вместо гладкой на формовочном прессе для штамповки заготовки. Во-вторых, прокатка такой заготовки осуществляется с перекосом в калибре относительно горизонтальной плоскости, что определяет повышенный износ калибра.

Наиболее близким по технической сущности является выбранный в качестве прототипа способ прокатки бандажей (А.с. 1733172 (СССР), МКИ В21 Н 1/08. Способ производства кольцевых изделий с наружным гребнем. - №4731311/27; Заявлено 11.04.89; Оpubл. 15.05.92. Бюл. №18), при реализации которого в процессе подготовки заготовки к раскатке на ней выполняют гребень высотой 1,1-1,3 высоты гребня заготовки после прокатки в данной клети и раскатывают с превышением коэффициента вытяжки в гребневой части изделия по сравнению с коэффициентом вытяжки в кольцевой части на 1-15%.

Недостатком данного изобретения является то, что оно строго нормирует превышение вытяжки по гребневой части бандажа на 1% и более, и исключает из рассмотрения процессы, где данное превышение отсутствует или оно менее 1%. В описании данного изобретения (А.с. 1733172, Фиг.2) показано, что прокатка на черновом и чистовом станах осуществляется в полузакрытых и закрытых калибрах. Из этого можно сделать выводы, во-первых, что данный способ более предпочтителен для прокатки на двух станах, и, во-вторых, что в представленном примере осевое обжатие металла не применялось. Вместе с тем, из практики следует целесообразность реализации совместных радиально-осевых

обжатий. Поэтому **возникает задача нормирования соотношения радиальных и осевых обжатий при прокатке локомотивных бандажей на одном кольцебандажном стане.** Решению данной задачи и посвящен предлагаемый способ.

**Поставленная задача может быть выполнена следующим образом.** Практическую реализацию нового способа определяет разработка технологии для каждого нового бандажа. На первом этапе определяется величина суммарного осевого обжатия, которое складывается из обжатия как верхним, так и нижним наклонными валками (см. Фиг.1). На практике оно назначается в пределах  $\Delta h_0 = (10 \div 30)$  мм для бандажей, имеющих массу  $100 \div 400$  кг, соответственно. Тогда высота заготовки  $L$  будет равна  $L = s + \Delta h_0$ , см. Фиг.2 (здесь  $s$  – высота бандажа).

Затем необходимо найти размеры гребня заготовки. Они определяются из условия его захода в гребневую часть калибра (см. Фиг.1). Заход гребня не должен приводить к такому дефекту как закат. При этом размеры гребня должны быть (с учетом этого условия) максимально возможными. Величины  $a$ ,  $b$  и  $h$  определяются из построения (см. Фиг.1). При этом необходимо выполнить следующие условия. Во-первых, для исключения образования заката в зоне перехода гребневой части бандажа в кольцевую необходимо, чтобы гребень заготовки в первый момент касания калибра не доходил до дна его гребневой части на величину  $\delta$ , равную  $5 \div 10$  мм (для бандажей, имеющих массу  $100 \div 400$  кг, соответственно). Во-вторых, дуга у основания гребня бандажа, образованная радиусом  $r$  (см. Фиг.1) должна плавно переходить в дугу у основания гребня заготовки, образованную радиусом  $R$ . Точка контакта указанных выше контуров на Фиг.1 обозначена буквой  $A$ .

После этого контур заготовки необходимо расположить относительно контура бандажа так, как это показано на Фиг.2. Точки скелетов заготовки и бандажа в зоне перехода гребней в кольцевые части должны находиться на одной вертикальной прямой, разделяющей гребневые и кольцевые части бандажа и заготовки.

Максимальная толщина кольцевой части заготовки  $H$  (см. Фиг.2) находится из условия равенства масс гребневых частей заготовки и бандажа.

$$M_{гр} = (1,0 \div 1,03)m - m_k, \quad (1)$$

где  $M_{гр}$  - масса гребневой части заготовки;

$m$  - масса бандажа;

$m_k$  - масса кольцевой части бандажа;

коэффициент в скобках обозначим  $k = (1,0 \div 1,03)$ .

Технологические параметры процесса, которые нормируются по данному способу, в частности радиальное осевое обжатие  $\Delta h_p$ , находим из условия раздельной прокатки гребневой части бандажа из гребневой части заготовки и, соответственно, кольцевой части бандажа из кольцевой части заготовки. Физическая сущность коэффициента  $k=(1,0\div 1,03)$  в выражении (1), как раз и заключается в том, что масса гребневой части заготовки  $M_p$ , из которой катается гребневая часть бандажа не должна быть меньше последней. Допускается превышение массы гребневой части заготовки над массой гребневой части бандажа в пределах до 3% от массы всего бандажа  $m$ . Данное превышение связано с тем, что при прокатке бандажей назначается поле допусков на все размеры. Бандажи, прокатанные по наименьшим (в пределах данного поля) размерам, по среднему полю допусков, а также и по наибольшим размерам являются годными. Но массы гребневых частей таких бандажей будут отличаться. Такие колебания даже при одном режиме прокатки бандажей могут быть связаны с колебанием масс исходных заготовок. Введение данного коэффициента призвано учесть влияние на процесс прокатки данных колебаний. Коэффициент 1,0 может использоваться, например, при прокатке заготовок из непрерывнолитого металла, масса которых стабильна, так как стабилен и диаметр таких заготовок. Коэффициент больший 1,0 и вплоть до 1,03 может использоваться при прокатке заготовок из различных слитков, масса которых может колебаться при одной и той же схеме порезки вследствие колебания диаметров слитков из-за неодинакового износа изложниц при различных сроках их эксплуатации.

Масса гребневой части заготовки равна

$$M_{гр} = M_{г} + M_{п}, \quad (2)$$

где  $M_{г}$  - масса гребня заготовки,

$M_{п}$  - масса прямоугольной части заготовки шириной  $b$ , расположенной под гребнем (см. Фиг.2).

Массу гребня найдем по известной формуле

$$M_{г} = 2\pi R_{ц} S_{г} \rho, \quad (3)$$

где  $S_{г}$  - площадь гребня заготовки,  $S_{г} = \frac{1}{2} h(a + b)$ ;

$a, b$  - высота гребня заготовки по его вершине и основанию, соответственно;

$\rho$  - плотность металла;

$\pi=3,14159$ ;

$R_{ц}$  - радиус, проведенный в центр тяжести гребня.

Здесь

$$R_{ц} = \frac{1}{2}D + H + y_{ц}, \quad (4)$$

где  $y_{ц}$  - ордината центра тяжести гребня.

$$y_{ц} = \frac{h(2a + b)}{3(a - b)}; \quad (5)$$

$D$  - внутренний диаметр заготовки.

Аналогично, масса  $M_{п}$  равна

$$M_{п} = \pi(D + H)Hb\rho. \quad (6)$$

Подставляя выражения (3) и (4) в (2), получаем

$$M_{гр} = \pi\rho \left[ 2 \left( \frac{1}{2}D + H + y_{ц} \right) S_{г} + (D + H)Hb \right]. \quad (7)$$

Подставляя (7) в условие (1), находим величину  $H$

$$H = \frac{1}{2b} \left\{ -2S_{г} - Db + \sqrt{(2S_{г} + Db)^2 - 4b \left[ S_{г}(D + 2y_{ц}) - \frac{(1,0 \div 1,03)m - m_{к}}{\pi\rho} \right]} \right\}. \quad (8)$$

Теперь можем найти массу кольцевой части заготовки исходя из условия, что массы заготовки и бандажа равны.

$$M_{к} = m - M_{гр}. \quad (9)$$

С другой стороны можем записать

$$M_{к} = \pi\rho \left[ H - \frac{2}{3}(L - b)\text{tg}\alpha + \frac{D}{2} \right] (L - b)^2 \text{tg}\alpha. \quad (10)$$

Подставляя (10) в формулу (9), находим угол наклона кольцевой части заготовки  $\alpha$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left( \frac{-k_2 - \sqrt{k_2^2 - 4k_1k_3}}{2k_1} \right), \quad (11)$$

где  $k_1 = \frac{1}{3}(L-b)^3$ ;

$$k_2 = -(L-b)^2 \left( \frac{D}{2} + H \right);$$

$$k_3 = (L-b)H(D+H) - \frac{m - M_{\text{пр}}}{\pi\rho};$$

$L$ - высота заготовки.

На заключительном этапе можем найти величину радиального обжатия (нормируемого в данном способе) как разность толщины заготовки и бандажа по кругу катания (см. Фиг.2)

$$\Delta h_p = H - (B-b) \operatorname{tg} \alpha - \frac{1}{2}(D_k - d), \quad (12)$$

где  $H$ - наибольшая толщина кольцевой части заготовки (см. формулу (8));

$B$ - расстояние от внутренней поверхности заготовки до круга катания;

$\alpha$  - угол наклона кольцевой части заготовки (см. формулу (11));

$D_k$  - диаметр бандажа по кругу катания;

$d$ - диаметр бандажа по внутренней цилиндрической поверхности.

Из изложенного выше видим, что именно **реализация на практике нормированного радиального обжатия  $\Delta h_p$  в зоне круга катания позволяет реализовать условие раздельной прокатки частей бандажа, которое обеспечивает исключение вынужденного перетекания металла из гребневой части в кольцевую и наоборот, что является причиной различных утяжек и коробления.** Настоящее раскрывает причинно-следственную связь существенного отличительного признака и получаемых новых показателей качества.

В предлагаемом способе превышение вытяжки  $\mu_r$  по гребневой части бандажа по отношению к вытяжке  $\mu_k$  по его кольцевой части не нормируется. Но проверка была выполнена и установлено, что разница  $\Delta\mu$ , равная  $\Delta\mu = \mu_r - \mu_k$  всегда меньше 1% (меньше чем 0,01). То есть по данному показателю новый способ находится вне заявленного в А.с. 1733172 диапазона -  $\Delta\mu \geq (1-15)\%$ . Настоящее будет показано и в примерах реализации нового способа.

Способ осуществляется следующим образом. Заготовки требуемой массы нагревают до температуры горячей пластической деформации (1250-1280) °С, подвергают осадке на гладких плитах и формовке в закрытом штампе с одновременным формированием гребня. При подготовке заготовки толщина ее кольцевой части в зоне стыковки с гребнем  $H$  выполняется в соответствии с величиной, которую дает соотношение (8). Угол наклона кольцевой части заготовки  $\alpha$  выполняется в соответствии с соотношением (11). После прошивки заготовки она прокатывается на одном кольцебандажном стане. При этом выполняется реализация нормируемого радиального обжатия в зоне круга катания между приводным наружным валком и холостым внутренним валком, равного  $\Delta h_p = H - (B - b) \operatorname{tg} \alpha - \frac{1}{2}(D_k - d)$ . **Наличие указанного существенного отличительного признака позволяет характеризовать заявляемое изобретение как соответствующее критерию «Новизна».**

Процесс прокатки заканчивается после достижения уже на одном стане требуемых диаметров  $D_k$  - по кругу катания и  $d$  - по внутренней цилиндрической поверхности, а также высоты бандажа  $s$ , которая обеспечивается реализацией осевого обжатия  $\Delta h_o$  верхним и нижним наклонными валками.

**При изучении известных технических решений признаки, отличающие заявляемое изобретение от прототипа, не были выявлены и поэтому они обеспечивают данному решению соответствие критерию «существенного отличия».**

**Пример.** Реализацию изобретения «Способ прокатки локомотивных бандажей на одном стане» выполним применительно к бандажам 890x143 мм (ДСТУ 3717-98) для подвижного состава железных дорог Украины и стран СНГ, а также к бандажам  $\varnothing 886$  мм для подвижного состава железных дорог Китая. Чертежи сечений указанных бандажей, а также заготовки для их прокатки, представлены на Фиг.3 ÷ Фиг.6. Размеры соответствуют профилям в горячем состоянии.

**Расчет радиального обжатия по кругу катания  $\Delta h_p$  при прокатке бандажа 890x143 мм.**

**Исходная информация:**

внутренний диаметр заготовки  $D=258$  мм;

масса бандажа  $m=338.086$  кг;

плотность металла  $\rho=7.51 \times 10^{-6}$  кг/мм<sup>3</sup>;

размеры гребня заготовки:

$a=31$  мм,  $b=52$  мм,  $h=37.5$  мм;

коэффициент  $k=1.0225$ ;

высота заготовки  $L=175$  мм,  $L=s + \Delta h_o = 147+28=175$  мм;

расстояние от внутренней поверхности заготовки до круга катания  $B=82.5$  мм (см. Фиг.4, Фиг.2);

диаметр бандажа по кругу катания  $D_k=1075.9$  мм;

диаметр бандажа по внутренней цилиндрической поверхности  $d=898.1$  мм.

### Расчет параметров заготовки:

площадь гребня заготовки

$$S_r = \frac{1}{2} \times 37.5 \times (31 + 52) = 1.556 \times 10^3 \text{ мм}^2;$$

ордината центра тяжести гребня (см. формулу (5))

$$y_{ц} = \frac{37.5 \times (2 \times 31 + 52)}{3 \times (31 + 52)} = 17.169 \text{ мм};$$

максимальная толщина кольцевой части заготовки (см. формулу (8))

$$H = \frac{1}{2 \times 52} \times \left\{ -2 \times 1566 - 258 \times 52 + \sqrt{(2 \times 1566 + 258 \times 52)^2 - 4 \times 52 \times \left[ 1566 \times (258 + 2 \times 17.169) - \frac{1.0225 \times 338.086 - 210}{\pi \times 7.51 \times 10^{-6}} \right]} \right\} \\ = 191.3 \text{ мм};$$

радиус, проведенный в центр тяжести гребня (см. формулу (4))

$$R_{ц} = \frac{1}{2} \times 258 + 191.3 + 17.169 = 337.469 \text{ мм};$$

масса гребневой части заготовки (см. формулу (7))

$$M_{гр} = \pi \times 7.51 \times 10^{-6} \times \left[ 2 \times \left( \frac{1}{2} \times 258 + 191.3 + 17.169 \right) \times 1556 + (258 + 191.3) \times 191.3 \times 52 \right] \\ = 130.201 \text{ кг};$$

масса кольцевой части заготовки (см. формулу (9))

$$M_k = 338.086 - 130.201 = 207.885 \text{ кг};$$

угол наклона кольцевой части заготовки (см. формулу (11))

$$k_1 = -\frac{2}{3} \times (175 - 52) + (175 - 52)^3 = 1.861 \times 10^6,$$

$$k_2 = -(175 - 52)^2 \times \left( \frac{258}{2} + 191.3 \right) = -4.845 \times 10^6,$$

$$k_3 = (175 - 52) \times 191.3 \times (258 + 191.3) - \frac{207.885}{\pi \times 7.51 \times 10^{-6}} = 1.758 \times 10^6,$$

$$\alpha = \arctg \left( \frac{4.845 \times 10^6 - \sqrt{(-4.845 \times 10^6)^2 - 4 \times 1.861 \times 10^6 \times 1.758 \times 10^6}}{2 \times 1.861 \times 10^6} \right) = 19^\circ 50';$$

величина радиального обжатия (см. формулу (12))

$$\Delta h_p = 191.3 - (82.5 - 52) \times \operatorname{tg} 19^\circ 50' - \frac{1}{2} \times (1075.9 - 898.1) = 91.3 \text{ мм}.$$

Нормируемое в настоящем изобретении радиальное обжатие, необходимое при прокатке на одном стане равно **91.3 мм**.

На заключительном этапе выполним проверочные расчеты вытяжек по гребневым и кольцевым частям бандажа. Площади гребневых частей заготовки и бандажа, строго соответствующие Фиг.3 и Фиг.4, равны соответственно:

$$S_{\text{гр}} = 11368.4 \text{ мм}^2, s_{\text{гр}} = 5099.2 \text{ мм}^2.$$

$$\text{Площади кольцевых частей заготовки и бандажа равны, соответственно } S_k = 20801.8 \text{ мм}^2, s_k = 9297.5 \text{ мм}^2.$$

$$\text{Вытяжка по гребневой части заготовки равна } \mu_{\text{гр}} = \frac{11368.4}{5099.2} = 2.229.$$

$$\text{Вытяжка по кольцевой части заготовки равна } \mu_k = \frac{20801.8}{9297.5} = 2.238.$$

Из представленных расчетов видно, что здесь при реализации предлагаемого изобретения  $\mu_k > \mu_{\text{гр}}$ . То есть, как и отмечалось выше, настоящее решение находится в стороне от заявленного в А.с. 1733172 (прототип) диапазона, где  $\mu_{\text{гр}} > \mu_k$ , причем не менее, чем на 1%.



**Расчет радиального обжатия по кругу катания  $\Delta h_p$  при прокатке бандажа 886 мм для Китая.**

**Исходная информация:**

внутренний диаметр заготовки  $D=258$  мм;

масса бандажа  $m=358.862$  кг;

плотность металла  $\rho=7.51 \times 10^{-6}$  кг/мм<sup>3</sup>;

размеры гребня заготовки:

$a=38$  мм,  $b=59$  мм,  $h=35$  мм;

коэффициент  $k=1.028$ ;

высота заготовки  $L=180$  мм,  $L=s + \Delta h_o = 150 + 30 = 180$  мм;

расстояние от внутренней поверхности заготовки до круга катания  $V=87.6$  мм, (см. Фиг.6, Фиг.2);

диаметр бандажа по кругу катания  $D_k=1080$  мм;

диаметр бандажа по внутренней цилиндрической поверхности  $d=893$  мм.

**Расчет параметров заготовки:**

площадь гребня заготовки

$$S_r = \frac{1}{2} \times 35 \times (38 + 59) = 1.698 \times 10^3 \text{ мм}^2;$$

ордината центра тяжести гребня (см. формулу (5))

$$y_{ц} = \frac{35 \times (2 \times 38 + 59)}{3 \times (38 + 59)} = 16.237 \text{ мм};$$

максимальная толщина кольцевой части заготовки (см. формулу (8))

$$H = \frac{1}{2 \times 59} \times \left\{ -2 \times 1698 - 258 \times 59 + \sqrt{(2 \times 1698 + 258 \times 59)^2 - 4 \times 59 \times \left[ 1698 \times (258 + 2 \times 16.237) - \frac{1.028 \times 358.862 - 218.3}{\pi \times 7.51 \times 10^{-6}} \right]} \right\}$$

$$= 189.3 \text{ мм};$$

радиус, проведенный в центр тяжести гребня (см. формулу (4))

$$R_{\text{ц}} = \frac{1}{2} \times 258 + 189.3 + 16.237 = 334.537 \text{ мм};$$

масса гребневой части заготовки (см. формулу (7))

$$M_{\text{гр}} = \pi \times 7.51 \times 10^{-6} \times \left[ 2 \times \left( \frac{1}{2} \times 258 + 189.3 + 16.237 \right) \times 1698 + (258 + 189.3) \times 189.3 \times 59 \right] \\ = 144.656 \text{ кг};$$

масса кольцевой части заготовки (см. формулу (9))

$$M_{\text{к}} = 358.862 - 144.656 = 214.206 \text{ кг};$$

угол наклона кольцевой части заготовки (см. формулу (11))

$$k_1 = -\frac{2}{3} \times (180 - 59) + (180 - 59)^3 = 1.771 \times 10^6,$$

$$k_2 = -(180 - 59)^2 \times \left( \frac{258}{2} + 189.3 \right) = -4.66 \times 10^6,$$

$$k_3 = (180 - 59) \times 189.3 \times (258 + 189.3) - \frac{214.206}{\pi \times 7.51 \times 10^{-6}} = 1.166 \times 10^6,$$

$$\alpha = \arctg \left( \frac{4.66 \times 10^6 - \sqrt{(-4.66 \times 10^6)^2 - 4 \times 1.771 \times 10^6 \times 1.166 \times 10^6}}{2 \times 1.771 \times 10^6} \right) = 15^{\circ}38';$$

величина радиального обжатия (см. формулу (12))

$$\Delta h_p = 189.3 - (87.6 - 59) \times \text{tg}15^{\circ}38' - \frac{1}{2} \times (1080 - 893) = 87.8 \text{ мм}.$$

Нормируемое в настоящем изобретении радиальное обжатие, необходимое при прокатке на одном стане, равно **87.8 мм**.

На заключительном этапе выполним проверочные расчеты вытяжек по гребневым и кольцевым частям бандажа. Площади гребневых частей заготовки и бандажа, строго соответствующие Фиг.5 и Фиг.6, равны соответственно:

$S_{\text{гр}} = 12887.0 \text{ мм}^2$ ,  $s_{\text{гр}} = 5897.5 \text{ мм}^2$ . Площади кольцевых частей заготовки и бандажа равны, соответственно  $S_{\text{к}} = 20983.9 \text{ мм}^2$ ,  $s_{\text{к}} = 9418.6 \text{ мм}^2$ .

Вытяжка по гребневой части заготовки равна  $\mu_{\text{г}} = \frac{12887.0}{5897.5} = 2.185$ .

Вытяжка по кольцевой части заготовки равна  $\mu_k = \frac{20983,9}{9418,6} = 2,228$ .

Из представленных расчетов видно, что здесь (при реализации предлагаемого изобретения с целью прокатки локомотивных бандажей  $\varnothing 886$  мм для Китая)  $\mu_k > \mu_r$ . То есть, также настоящее решение находится в стороне от заявленного в А.с. 1733172 (прототип) диапазона, где, во-первых,  $\mu_r > \mu_k$ , и, во-вторых, не менее, чем на  $(1 \div 15)\%$ .

Реализация предложенного способа прокатки локомотивных бандажей  $\varnothing 890 \times 143$  мм для Украины, а также стран СНГ и локомотивных бандажей  $\varnothing 886$  мм для Китая на одном кольцебандажном стане показала, что процент брака по дефектам снижен. Имеет место экономия электроэнергии и снижение затрат на валки при прокатке на одном стане вместо двух. Предлагаемый способ имеет значение также при выполнении ремонтных работ на одном из двух станов. В этом случае технологический процесс производства не прерывается, в отличие от технологии прокатки на 2-х станах. Предложенная технология внедряется в производство на кольцебандажном стане ОАО НТЗ в 2000-2001 г.г.

Заявитель:

Технический директор ОАО НТЗ

Г.А. Есаулов

Авторы:

А.В. Яковченко  
В.А. Новохатний  
А.Ю. Лоскутов  
А.И. Донской  
А.А. Стукалов  
В.К. Погонец