

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИВОДА ВАЛКОВ СТАНОВ ШАГОВОЙ ПРОКАТКИ

*Г.И. Коваль, Т.Г. Каримова*

**Выполнен структурный анализ механизма привода валков станов шаговой прокатки с качающимися валками. С использованием аналитических методов получены зависимости, связывающие угловые положения, скорости валков и приводных кривошипов. Разработаны рекомендации для проектирования станов шаговой прокатки, использование которых позволяет увеличить длину обжимного участка валков, повысить производительность и качество получаемого проката.**

*Ключевые слова:* станы шаговой прокатки, кинематика, рычажные системы привода валков.

На станах шаговой прокатки производительность и качество получаемого проката в значительной степени зависят от длины деформирующей части рабочей поверхности валков, определяемой углом их поворота при обжатии. На станах шаговой прокатки с качающимися валками [1], в которых оси валков совершают возвратно-поступательное перемещение, угол поворота валков при обжатии ограничен параметрами рычажной системы их привода и не превышает 65–70 градусов.

Характерным для работы станов шаговой прокатки является применение операций подачи заготовки и ее кантовки в каждом цикле прокатки во время образования зазора между заготовкой и рабочей поверхностью валков. Необходимость выполнения этих технологических операций существенно снижает угол поворота валков при обжатии заготовки.

На стане шаговой прокатки с качающимися валками ПК600 [1] синхронизация работы пневмоцилиндров привода кантователей и кривошипно-шатунной системы привода возвратно-поступательного перемещения прокатной клетки и поворота валков осуществляется посредством командоаппарата, установленного на валу большей шестерни сдвоенной зубчатой передачи.

На станах шаговой прокатки с качающимися валками ШП 175, ШП 200 и ШП280 [1], привод поворота валков жестко кинематически связан кулачковым механизмом привода кантователей. Учитывая, что угол поворота валка в этом случае зависит от угла поворота кривошипа, то угловое положение кулачка по отношению к угловому положению кривошипа влияет на угол поворота валка при обжатии заготовки.

Следовательно, на этих станах возможно существование резервов увеличения угла поворота валков при обжатии за счет его снижения при кантовке.

Определение этих резервов возможно только на основе аналитического расчета кинематики рычажной системы привода валков с учетом углового положения кулачка привода кантователей и кривошипа привода поворота валков.

Исследование кинематики рычажной системы станов ПК 120 [2] и ПК 600 [1] выполнено в работе [3]. Для привода поворота валков на этих станах используются шарнирные четырехзвенники в виде дезаксиальных кривошипно-ползунных механизмов. Привод перемещения прокатной клетки осуществляется от кривошипно-ползунного механизма с ведомым ползуном, а привод поворота валков – от кривошипно-ползунного механизма с ведущим ползуном.

На станах ШП 175, ШП 200 и ШП 280 для привода возвратно-поступательного перемещения прокатной клетки и поворота валков [1] дополнительно введены по два двуплечих рычага и шатуны.

С целью выявления технологических резервов станов ШП 175, ШП 200 и ШП 280, направленных на увеличение производительности и повышение качества получаемого проката, проведено исследование кинематики работы этих станов с установлением зависимостей между угловыми положениями ведущих и ведомых звеньев, кинематикой этих звеньев.

Общая расчетная схема этих станов представлена на рис. 1, согласно которому привод возвратно-поступательного перемещения прокатной клетки (т.  $O$ ) и поворота валков (звенья  $l$ ,  $l_1$  и  $c$ ), связанных штангой  $g$  с опорой в т.  $K$ , осуществляются посредством шатуна  $L_{ш2}$ , двуплечего рычага  $R_1$  и  $R_2$ , закрепленного шарнирно в т.  $O_1$ , шатуна  $L_{ш1}$  и кривошипа  $r$ , закрепленного шарнирно в т.  $O_2$ . На оси  $O_2$  установлен кулачок с опирающимся на него роликом, который шарнирно закреплен на двуплечем рычаге, связанным с механизмами кантовки. Благодаря этому обеспечивается синхронизация работы прокатных валков и кантователей, обеспечивающих поворот заготовки при отсутствии контакта рабочей поверхности валков с деформируемой заготовкой.

Для проведения кинематического анализа представленной на рис. 1 схемы используем аналитические методы [4]. Для этого представим общую расчетную схему (см. рис. 1) в виде следующего ряда плоских механизмов: шарнирного четы-

рехзвенника  $O_2NMO_1$  (рис. 2, а), дезаксиального кривошипно-ползунного механизма с ведомым ползуном  $O_1PO$  (рис. 3) и дезаксиального кривошипно-ползунного механизма с ведущим ползуном  $OTK$  (рис. 4, а). При этом приведем шарнирный четырехзвенник  $O_2NMO_1$  и дезаксиальный кривошипно-ползунный механизм с ведущим ползуном  $OTK$  к видам (рис. 2, б и 4, б), позволяющим использовать зависимости, полученные в работе [4].

Исходными данными для расчета являются угловая скорость кривошипа  $\omega_{кр}$  (звено  $r$ ), угол поворота кривошипа  $\varphi_{кр}$  и размеры звеньев пло-

ских рычажных механизмов  $r, L_{ш1}, L_{ш2}, R_1, R_2, A, b, a, g, h_c, c, l_1$  (см. рис. 1–4).

Используя рис. 2, б и результаты работы [4], получим следующие формулы, позволяющие определить угловую скорость звена  $R_1$ .

Общее соотношение для определения угловой скорости звена  $R_1$

$$\omega_1 = \omega_{кр} i_{1кр} \quad (1)$$

Аналог угловой скорости  $\omega_1$  равен

$$i_{1кр} = \frac{r \sin(\varphi - \varphi_2)}{R_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2)} \quad (2)$$

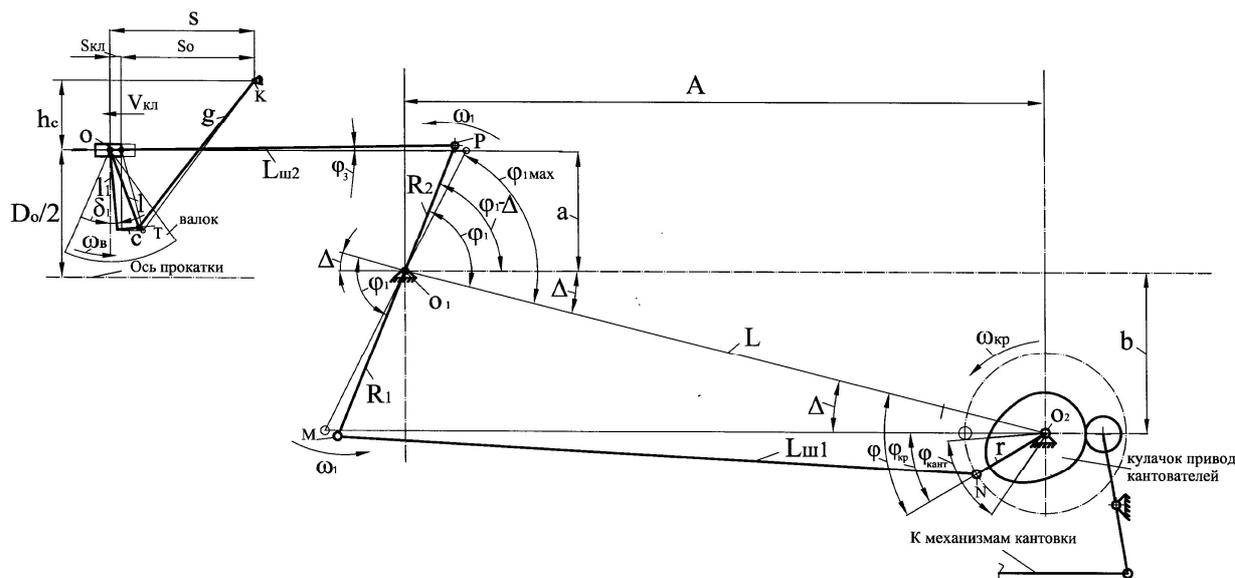


Рис. 1. Схема привода валков станов шаговой прокатки с качающимися валками

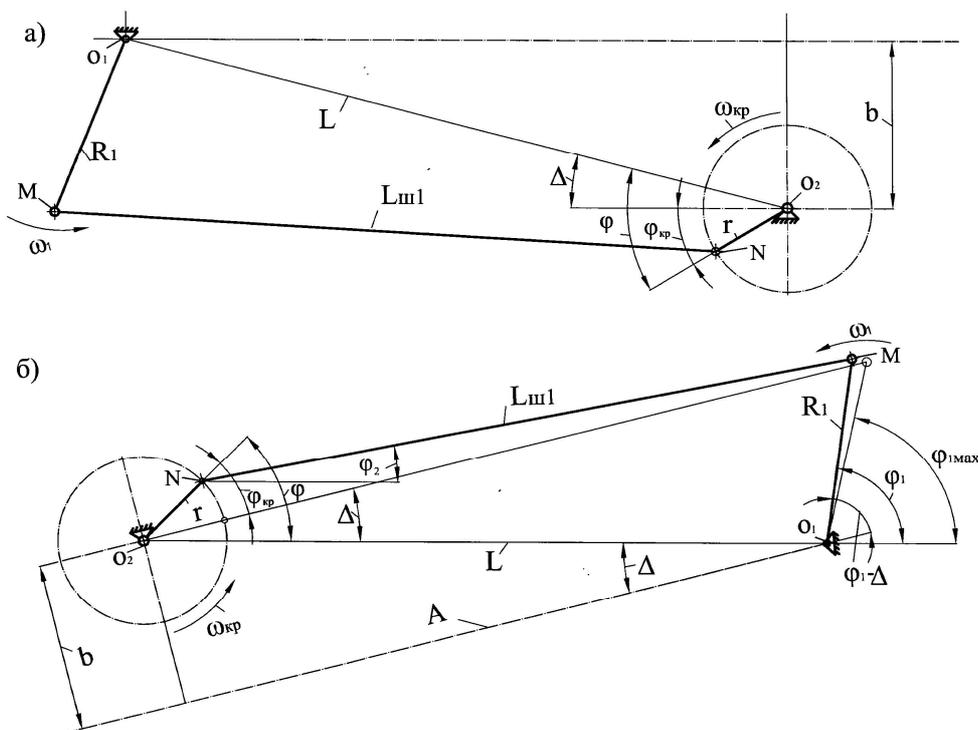


Рис. 2. Исходная и расчетная схемы шарнирного четырехзвенника привода поворота двуплечего рычага

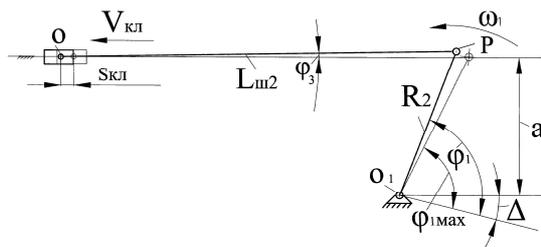


Рис. 3. Дезаксиальный кривошипно-ползунный механизм с ведомым ползуном

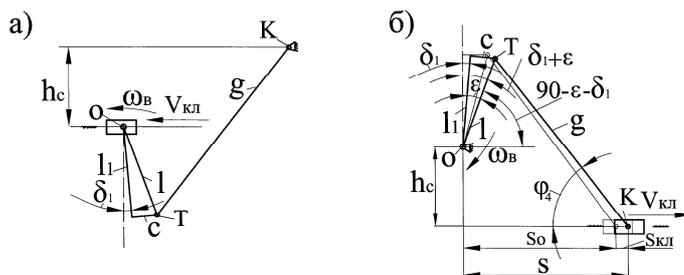


Рис. 4. Исходная и расчетная схемы дезаксиального кривошипно-ползунного механизма с ведущим ползуном

Углы, характеризующие положения звеньев  $R_1$  и  $L_{ш1}$ , равны соответственно

$$\varphi_1 = \arccos \frac{L_{ш1}^2 - R_1^2 - L^2 - r^2 + 2Lr \cos \varphi}{2R_1 \sqrt{L^2 + r^2 - 2Lr \cos \varphi}} + \arccos \frac{-r \sin \varphi}{-r \cos \varphi + L}; \quad (3)$$

$$\varphi_2 = \arccos \frac{L_{ш1}^2 - R_1^2 + L^2 + r^2 - 2Lr \cos \varphi}{2L_{ш1} \sqrt{L^2 + r^2 - 2Lr \cos \varphi}} + \arccos \frac{-r \sin \varphi}{-r \cos \varphi + L}. \quad (4)$$

Максимальное значение угла поворота звена  $R_1$

$$\varphi_{1max} = \pi - \arccos \frac{R_1^2 + L^2 - (L_{ш1} + r)^2}{2R_1 L}. \quad (5)$$

Параметры, входящие в соотношения (2)–(4), определяются по формулам:

$$\Delta = \arctg(b/A); \quad (6)$$

$$\varphi = \varphi_{кр} + \Delta; \quad (7)$$

$$L = \sqrt{b^2 + A^2}. \quad (8)$$

Используя рис. 3, результаты работы [4] и принимая во внимание равенство угловых скоростей звеньев  $R_1, R_2$ , получим следующие формулы для определения перемещения и скорости прокатной клетки (т. O).

Общие соотношения для определения перемещения и скорости прокатной клетки:

$$S_{кл} = S_{(\varphi_1 - \Delta)} - S_{(\varphi_{1max} - \Delta)}; \quad (9)$$

$$V_{кл} = \omega_1 V_{0\varphi}. \quad (10)$$

Параметры, входящие в соотношения (9) и (10), определяются по формулам

$$S_{(\varphi_1 - \Delta)} = L_{ш2} \cos \varphi_3 - R_2 \cos(\varphi_1 - \Delta); \quad (11)$$

$$V_{0\varphi} = \frac{R_2 \sin(\varphi_3 - (\varphi_1 - \Delta))}{\cos \varphi_3}. \quad (12)$$

Угол поворота звена  $L_{ш2}$ , входящий в соотношения (11) и (12), определяется зависимостью

$$\varphi_3 = \arccos \sqrt{1 - \left( \frac{R_2 \sin(\varphi_1 - \Delta) - a}{L_{ш2}} \right)^2}. \quad (13)$$

Угол поворота валка и его угловая скорость (звено  $l_1$ ) определяются с использованием рис. 4, результатов работы [4] из следующих соотношений.

Угол поворота валка

$$\delta_1 = \frac{\pi}{2} - \varepsilon + \arctg(h_c / S) - \arccos \frac{S^2 - g^2 + l^2 + h_c^2}{2l \sqrt{S^2 + h_c^2}}. \quad (14)$$

Параметры, входящие в соотношение (14), определяются по формулам:

$$l = \sqrt{l_1^2 + c^2}; \quad (15)$$

$$\varepsilon = \arctg(c/l_1); \quad (16)$$

$$S = S_0 + S_{кл} \quad (17)$$

В последнем выражении

$$S_0 = \sqrt{g^2 - (h_c + l_1)^2 + c}. \quad (18)$$

Угловая скорость валка

$$\omega_B = V_{кл} / V_{кл \delta}. \quad (19)$$

Аналог скорости прокатной клетки определяется по формуле

$$V_{кл \delta} = l \frac{\sin(2\pi - \varphi_4 - \pi/2 + \delta_1 + \varepsilon)}{\cos \varphi_4}. \quad (20)$$



Рис. 5. Зависимость угловой скорости вала от угла поворота кривошипа

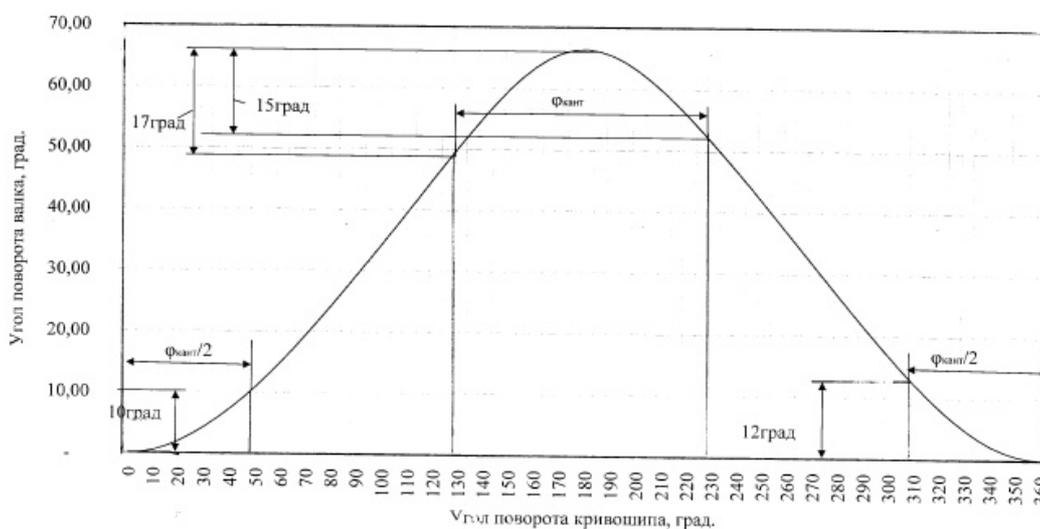


Рис. 6. Зависимость угла поворота вала от угла поворота кривошипа

Угол поворота звена  $g$  равен

$$\varphi_4 = \arccos \frac{\sqrt{g^2 - (l \sin(\pi/2 - \delta_1 - \varepsilon) + h_c)^2}}{g}. \quad (21)$$

С использованием полученных зависимостей в качестве примера для условий стана ШП 280 выполнен расчет кинематики рычажной системы привода прокатной клетки и валков, построены графики, характеризующие изменение этих параметров в зависимости от угла поворота кривошипа.

Согласно рис. 5 на станах шаговой прокатки с качающимися валками угловая скорость валков изменяется практически по синусоидальному закону. Это обеспечивает монотонное изменение окружной скорости валков и отсутствие динамического взаимодействия рабочей поверхности валков с деформируемой заготовкой в начальный и конечный моменты ее деформации.

Угол поворота валков на данных станах не превышает 70 градусов (рис. 6). В крайних поло-

жениях прокатной клетки, в которых может осуществляться кантовка заготовки, угол поворота валков менее интенсивно изменяется в районе угла поворота кривошипа  $\varphi_{кр} = 0$  (360) градусов. Учитывая, что угол поворота кривошипа при кантовке в зависимости от угла кантовки составляет примерно 100 градусов, то согласно рис. 6 угол поворота валков в этом интервале углов поворота кривошипа в крайних положениях клетки составляет примерно 22 и 32 градуса соответственно в районе  $\varphi_{кр} = 0$  (360) градусов и  $\varphi_{кр} = 180$  градусов. Следовательно, угол поворота валков при кантовке снижается примерно на 10 градусов при сохранении угла поворота кривошипа и времени кантовки, что ведет к увеличению угла поворота валков при обжатии заготовки примерно на 5 градусов и повышению длины обжимного участка валков на 10%. Это дает возможность увеличить обжатие, производительность, улучшить качество проката на станах шаговой прокатки с качающимися валками.

**Выводы**

1. Для возможности использования известных аналитических методов при анализе кинематики рычажных механизмов станов шаговой прокатки с качающимися валками разработанную общую расчетную схему этих станов следует представлять в виде ряда стандартных плоских механизмов, включающих шарнирный четырехзвенник, дезаксиальный кривошипно-ползунный механизм с ведомым ползуном и дезаксиальный кривошипно-ползунный механизм с ведущим ползуном.

2. На станах шаговой прокатки с качающимися валками изменяющаяся по синусоидальному закону угловая скорость валков обеспечивает отсутствие динамического воздействия рабочей поверхности валков и деформируемой заготовки в начальный и конечный моменты ее деформации в каждом цикле шаговой прокатки.

3. При реконструкции существующих и проектировании новых станов шаговой прокатки с качающимися валками за счет соответствующей установки взаимного углового положения кулачка

привода кантователей и кривошипа привода поворота валков достигается увеличение на 10 % длины обжимного участка валков, что дает возможность увеличить обжатие, производительность, улучшить качество проката.

**Литература**

1. Коваль, Г.И. Применение прокатно-ковочных станов для получения сортового проката из специальных сплавов черных и цветных металлов / Г.И. Коваль // *Заготовительные производства в машиностроении* – 2012. – № 7. – С. 33–36.

2. Опытный прокатно-ковочный стан ПК 120×4 / В.Н. Выдрин, Е.Н. Березин, В.Г. Дремин и др. // *Теория и технология прокатки: сб. тр.* – Челябинск: ЧПИ, 1979. – № 230. – С. 77–82.

3. Коваль, Г. И. Структура и кинематика станов прокатки-ковки с подвижной клетью / Г.И. Коваль // *Изв. вузов. Машиностроение.* – 1988. – № 5. – С. 100–103.

4. Артоболевский, И.А. Теория механизмов и машин / И.А. Артоболевский. – М.: Наука, 1975. – 640 с.

**Коваль Григорий Иванович**, доктор технических наук, профессор кафедры машин и технологий обработки материалов давлением, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. Тел.: (351)2679178.

**Каримова Татьяна Григорьевна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и финансов, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. Тел.: (351)2679281.

*Bulletin of the South Ural State University*  
*Series "Metallurgy"*  
2013, vol. 13, no. 1, pp. 155–159

## RESEARCH OF KINEMATICS OF LEVER MECHANISMS OF ROLL DRIVE OF STEP-BY-STEP ROLLING MILLS

*G.I. Koval', T.G. Karimova*

The structural analysis of the mechanism of roll drive of step-by-step rolling mills with swinging rolls is made. Using analytical methods the dependences connecting angular positions, speeds of rolls and driving cranks are received. Recommendations are developed for design of the step-by-step rolling mills allowing to increase the length of a blooming site of rolls, to raise productivity and quality of received proskating rinks.

*Keywords: step-by-step rolling mills, kinematics, lever systems of a drive of rolls.*

**Koval' Grigoriy Ivanovich**, doctor of engineering science, professor of the Machines and Technologies of Material Deformation Processes Department, South Ural State University. 76 Lenin avenue, Chelyabinsk, Russia 454080. Tel.: 7(351)2679178.

**Karimova Tat'yana Grigor'evna**, candidate of economic science, associate professor of the Economics and Finances Department, South Ural State University. 76 Lenin avenue, Chelyabinsk, Russia 454080. Tel.: (351)2679281.

*Поступила в редакцию 20 декабря 2012 г.*