

УДК 621.778.1.073

И.В. Добров, к.т.н., А.В. Семичев, к.т.н., В.А. Грядун, И.И. Гетьман *
 Национальная металлургическая академия Украины г. Днепропетровск
 *Частное предприятие «ДИВ-ПБ» г. Днепропетровск

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ РОЛИКОВЫХ ВОЛОК С ОПОРНЫМИ РОЛИКАМИ И РАБОЧИМИ РОЛИКАМИ МАЛОГО ДИАМЕТРА

Розроблена методика експериментального визначення абсолютної та відносної жорсткості клітей волок різного виготовлення. На основі аналізу розрахункових схем роликів волок різного виготовлення та проведених експериментальних досліджень відносної жорсткості цих волок встановлені конструктивні та технологічні переваги волок з опорними роликками та робочими роликками малого діаметру.

It was developed method of experimental definition of an absolute and relative rigidity of the roll cages of different construction. On the basis of an analyze of the schemes of cages of different construction and on the basis of experimental investigations of the relative rigidity of these cages defined constructional and technological advantages of cages with support rolls and work rolls of the small size.

Вхождение Украины в мировую организацию торговли повышает требования к качеству продукции отечественной металлургической промышленности – холоднодеформированной арматурной стали, которая производится в роликковых волокках различных типоразмеров.

Целью работы является разработка метода экспериментального определения относительной жесткости клетки роликковой волоки с опорными роликками в процессе волочения проволоки с различными режимами обжатия для определения выравнивающей способности роликковых волок различных типоразмеров, обеспечивающих точность протянутого профиля.

В настоящее время для производства арматурной проволоки класса Вр по ГОСТ 6727 и ISO 10544 с двухсторонним рифлением наружной поверхности находят применение клетки роликковых волок [1,2,3]: двухроликковые (рис. 1а), с опорными роликками (рис. 1б), с опорными роликками и рабочими роликками малого диаметра (рис. 1в).

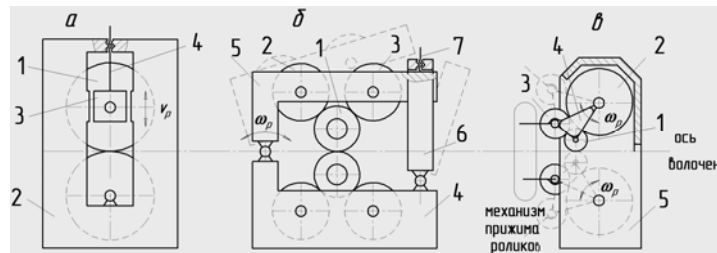


Рис. 1. Принципиальные схемы роликковых волок: а – двухроликковые; б – с опорными роликками; в – с опорными роликками и рабочими роликками малого диаметра

Двухроликковые волокки (рис. 1а) включают два неприводных ролика 1, нижний из которых установлен на неподвижной оси в корпусе клетки 2, а ось верхнего ролика расположена в подушках 3, которые с помощью нажимных винтов 4 перемещаются в вертикальном направлении (v_p) в направляющих корпуса 2 при регулировке положения роликков в процессе волочения.

Роликковые волокки с опорными роликками (рис. 1б) содержат две симметричные опорные группы роликков, каждая из которых состоит из рабочего ролика 1, установленного между двумя опорными валками (роликками) 2 и 3 равного диаметра. Оси вращения роликков нижней опорной группы установлены в неподвижном основании корпуса клетки 4, которое шарнирно связано с верхней подвижной половиной корпуса 5, где расположены оси вращения опорных роликков верхней группы. В рабочем положении регулировка роликков 1 осуществляется при повороте верхней половины клетки 4 (ω_p) с помощью нажимного винта 6, который связан с подвижной траверсой 7. Положение подвижной части корпуса и траверсы 7 при замене рабочих роликков 1 показано пунктиром.

Роликковые волокки с опорными роликками и рабочими роликками малого диаметра (рис. 1в) содержат [4,5] две симметрично расположенные опорные группы роликков, каждая из которых содержит рабочий ролик 1, установленный между опорным роликком 2 большего диаметра и опорным прижимным роликком 3, которые расположены внутри качающихся рычагов 4. При этом ось вращения опорного ролика 2 и качающегося рычага 4 установлена неподвижно в корпусе клетки 5, а оси вращения прижимного 3 и рабочего роликков 1 расположены внутри качающихся рычагов (ω_p), положение которых в процессе волочения определяется прижимным механизмом, связанным с корпусом клетки 5 и на рис. 1в условно не показанном. Положение качающихся рычагов при замене рабочих роликков вне корпуса клетки показано пунктиром.

Технические характеристики этих волок, которые имеют одинаковые установочные размеры для их расположения на последней секции волочильного стана с диаметром тянущего барабана 550 – 650 мм, приведены в табл. 1

Технические характеристики роликовых волок различных конструкций

Основные показатели	Тип роликовой волокни		
	Двухроликавая	Двухроликавая с опорными роликами	С опорными роликами и рабочими роликами малого диаметра
1	2	3	4
Диаметр рабочих роликов d_1 , мм	170	80	40
Количество ручьев на рабочем ролике, шт	6 – 7	6 – 7	2
Количество опорных роликов, шт	-	2	2
Диаметр опорных роликов d_2/d_3 , мм		105/105	130/70
Расстояние от основания клетки до оси волочения, мм	182	182	182
Габариты клетки: ширина (В), мм	300	270	290
Высота (Н), мм	480	430	380
Длина (L), мм	280	230	280
Масса клетки, кг	220	70	45
Техническое обслуживание клетки			
Замена рабочих роликов осуществляется	Вне стана при разборке клетки	На стане без разборки клетки	На стане без разборки клетки
Масса рабочего ролика,	12,5	1,55	0,39
Положение оси клетки при регулировке положения рабочих роликов	Изменяется	Изменяется	Не изменяется
Охлаждение осей опорных роликов	Не предусмотрено.	Не предусмотрено.	Предусмотрено

На рис. 2 представлены схемы сил (далее по тексту и рисунках принято при обозначении одноименных величин для роликовых волок различных типоразмеров в нижнем индексе этой величины через запятую указывать цифровой индекс роликовой волокни. Цифра 1 указывает на принадлежность этой величины к двухроликавой волоке, цифра 2 - к волоке с опорными валками, цифра 3 - к волоке с опорными роликами и рабочими роликами малого диаметра.), действующих в процессе волочения на подшипниковые узлы роликовых волок (рис.1) при одинаковых условиях волочения исходной заготовки диаметром d_H на конечный размер d_G . Схемы сил представлены на основании геометрических размеров волок (табл. 1) и при этом учитывается, что [6]

$$P_{M,1} : P_{M,2} : P_{M,3} = \sqrt{d_{1,1}} : \sqrt{d_{1,2}} : \sqrt{d_{1,3}}, \quad (1)$$

где $P_{M,1}$, $P_{M,2}$ и $P_{M,3}$ - силы, действующие в очаге деформации на соответствующие рабочие ролики роликовых волок диаметрами $d_{1,1}$, $d_{1,2}$ и $d_{1,3}$.

$$P_{1,1} = P_{M,1}; \quad (2)$$

$$\forall_{i=2,3} P_{2,i} = P_{M,i} \frac{\sin(\varphi_i + (\alpha_i - \gamma_i))}{\sin \varphi_i}; \quad (3)$$

$$\forall_{i=2,3} P_{3,i} = P_{M,i} \frac{\sin(\alpha_i - \gamma_i)}{\sin \varphi_i}; \quad (4)$$

$$\forall_{i=1,2,3} P_{M,i}^l = P_{M,i} \cos \gamma_i; \quad (5)$$

$$\forall_{i=1,2,3} 0,5P_B = P_{M,i} \sin \gamma_i, \quad (6)$$

где $P_{1,1}$ - сила, действующая в опоре (подшипнике) двухроликавой волокни; $P_{2,i}$ - сила, действующая в подшипнике опорного ролика 2 волокни с опорными роликами ($i = 2$) и волокни с опорными роликами и рабочими роликами малого диаметра ($i = 3$); $P_{3,i}$ - сила, действующая в подшипнике опорного ролика 3 волокни с опорными роликами ($i = 2$) и волокни с опорными роликами и рабочими роликами малого диаметра ($i = 3$); $P_{B,i}$ - соответственно сила волочения в i -ой волоке; $P_{M,i}^l$ - вертикальная составляющая силы давления металла на ролик i -ой волоке; γ_i - нейтральный угол при волочении в i -ой волоке $\gamma_i \approx 0,5 \sqrt{\frac{d_H - d_B}{d_{1,i}}}$; $\varphi_i \approx \arccos \frac{(d_{1,i} + d_{2,i})^2 + (d_{1,i} + d_{3,i})^2 - l_{o2o3,i}^2}{2(d_{1,i} + d_{3,i})(d_{1,i} + d_{2,i})}$ и $\alpha_i \approx \arccos \frac{A_i - d_{1,i}}{d_{1,i} + d_{2,i}}$ - центральные углы, определяющие положение рабочего ролика относительно опорных роликов в процессе волочения в i -ой волоке.

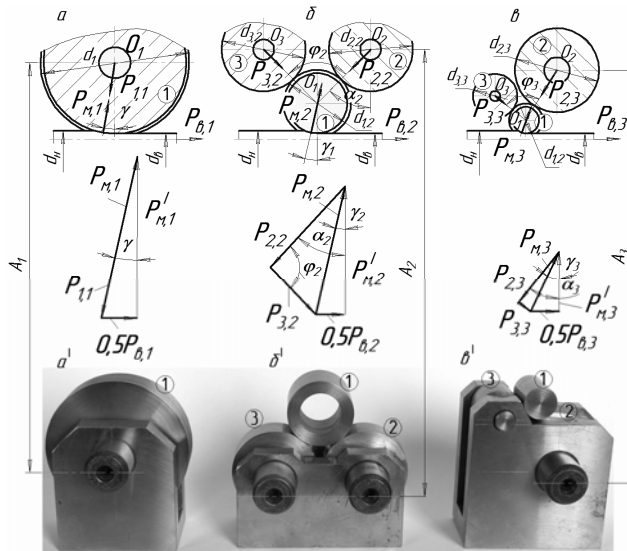


Рис. 2. Схемы нагрузок подшипниковых узлов роликовых волок в процессе волочения: а – двухроликковая волока; б – двухроликковая с опорными роликами; в – с опорными роликами и рабочим роликом малого диаметра (а', б', в' - соответствующие модели опорных групп роликовых волок в масштабе 1:2)

Анализ уравнений (1) - (6) и силовых многоугольников рис. 2а - рис. 2в показывает, что при условии $P_{M,1} > P_{M,2} > P_{M,3}$ наименее нагруженными в процессе волочения являются подшипниковые узлы роликовой волоки с опорными роликами и рабочими роликами малого диаметра

$$P_{2,3} < P_{2,2} < P_{1,1} \text{ и } P_{3,3} < P_{3,2} < P_{2,2}. \quad (7)$$

С увеличением угла φ_i нагрузки на подшипниковые узлы опорных роликов увеличиваются. С увеличением обжатия

за переход $\mu = \left(\frac{d_H}{d_B}\right)^2$ величины γ_1 и γ_2 практически не изменяются, а γ_3 увеличивается. Соответственно при

увеличении величины обжатия в двухроликковой волоке и в роликовой волоке с опорными роликами нагрузки на подшипники этих роликов возрастают пропорционально увеличению силы давления на рабочий ролик. В то же время в роликовой волоке с рабочими роликами малого диаметра происходит перераспределение сил в опорной группе роликов - увеличивается нагрузка на опорный ролик большего диаметра и уменьшается нагрузка на прижимной опорный ролик меньшего диаметра.

Важным параметром, определяющим точность протянутого изделия является жесткость клетки роликовой волоки (C_i), которая теоретически определяется по уравнению [7,8]

$$c_i = \frac{P_{M,i}^1}{\sum e_{j,i}}, \quad (8)$$

где $\sum e_{j,i}$ - сумма упругих деформаций j - го элемента i -ой роликовой волоки в направлении перпендикулярном оси волочения (упругая деформация (сплющивание) рабочего ролика в очаге деформации, деформация подшипниковых узлов, деформация контактных поверхностей опорных роликов и т. д).

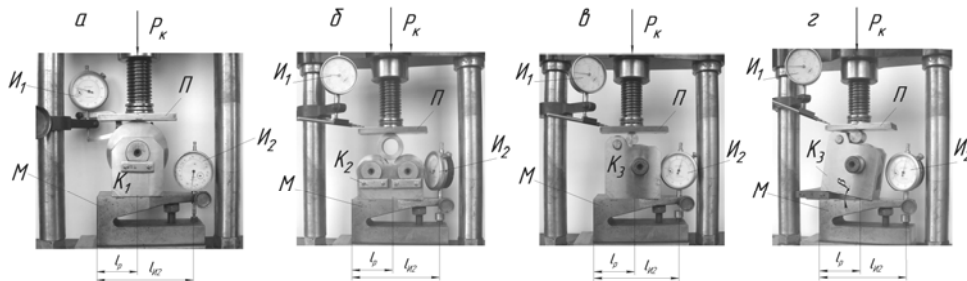


Рис. 3. Измерение упругой деформации в клетей роликовой волоки: а - двухроликковой; б - с опорными роликами; в - с рабочими роликами малого диаметра; г - с рабочими роликами малого диаметра при изменении направления действия внешней силы на рабочий ролик

Расчетный метод определения жесткости клетей роликовых волок требует экспериментальной проверки и исследования упругой деформации различных конструкций клетей прокатных станов (клетей роликовых волок) [7,8]. Учитывая, что доля упругой деформации валков и опорных роликов многовалковых станов составляет 92-97% [6] для экспериментальных исследований жесткости клетей роликовых волок, представленных в табл. 1, были изготовлены соответствующие модели этих волок (рис. 2а' - рис. 2в'). Исследования упругой деформации моделей

роликовых волок выполняли на винтовом прессе (рис. 3) по следующей методике. Модели роликовых волок (K_i) устанавливали на месдозу M и через пластину Π ступенчато нагружали силой P_k , соответствующей вертикальной составляющей силы давления материала на рабочий ролик ($P_{M,i}^l$) в процессе волочения. Величину силы P_k фиксировали по показанию индикатора I_2 , а перемещение плиты Π по показанию индикатора I_1 . Величину упругой деформации клетки ($\delta_{k,i}$) определяли по уравнению

$$\forall_{i=1,2,3} \delta_{k,i} = \delta_{1,i} - \delta_{2,i} \frac{l_P}{l_{I2}}, \quad (9)$$

где $\delta_{1,i}$ и $\delta_{2,i}$ - соответственно показания индикаторов I_1 и I_2 при упругой деформации i -ой модели клетки; $\frac{l_P}{l_{I2}}$ - коэффициент приведения показания индикатора I_2 к упругой деформации месдозы M на линии действия силы P_k .

Для определения влияния направления линии действия P_k на опорную группу роликов с рабочими роликами малого диаметра модель клетки K_3 устанавливали на месдозу M по углом $\beta = 14^\circ$ и проводили измерения величин $\delta_{1,3}^l$ и $\delta_{2,3}^l$ по показаниям индикаторов I_1 и I_2 . В этом случае величину упругой деформации ($\delta_{k,3}^l$) клетки K_3 определяли по уравнению

$$\delta_{k,3}^l = \delta_{1,3}^l - \delta_{2,3}^l \frac{l_P}{l_{I2}}. \quad (10)$$

На рис. 4а представлены графики абсолютных (статических) значений жесткости клеток роликовых волок (рис. 1) в относительных величинах

$$c_{от,i} = \frac{\delta_{2,i}}{\delta_{k,i}} \text{ и } c_{от,3}^l = \frac{\delta_{2,i}}{\delta_{k,3}^l}. \quad (11)$$

На рис. 4б представлены графики жесткостей клеток роликовых волок (рис. 1) в относительных величинах, приведенных к жесткости клетки двухроликовой волоки (рис. 1а), с учетом условий нагружения рабочих роликов в процессе волочения (1), (5)

$$\forall_{i=1,2,3} c_{пр,i} = c_{от,i} \sqrt{\frac{d_{1,1}}{d_{1,i}}} \text{ и } c_{пр,3}^l = c_{от,3}^l \sqrt{\frac{d_{1,1}}{d_{1,i}}}. \quad (12)$$

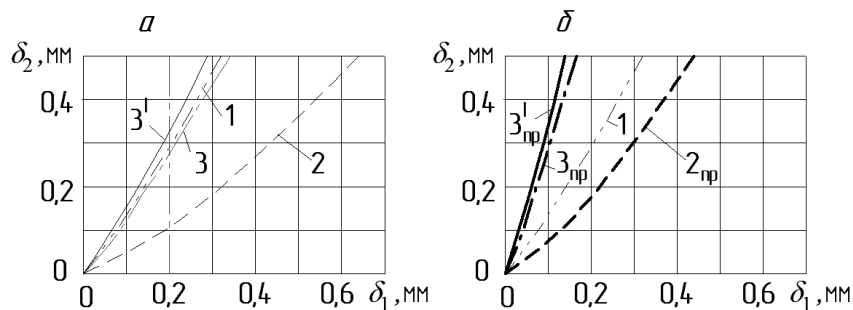


Рис. 4. Относительные жесткости клеток роликовых волок: а - статические ($c_{от,1}$ - 1, $c_{от,2}$ - 2, $c_{от,3}$ - 3, $c_{от,3}^l$ - 3^л); б - приведенные ($c_{пр,1}$ - 1, $c_{пр,2}$ - 2_{пр}, $c_{пр,3}$ - 3_{пр}, $c_{пр,3}^l$ - 3_{пр}^л)

Анализ представленных графиков показывает:

- наибольшей относительной (технологической) жесткостью, определяющей точность протянутого профиля, обладают клетки роликовых волок с опорными роликами и рабочими роликами малого диаметра ($c_{от,3}^l > c_{от,1} > c_{от,3} > c_{от,2}$);

- величина абсолютной жесткости клетки не в полной мере отражает величину упругой деформации роликовой волоки в процессе волочения, т.к. величина силы давления металла на рабочие ролики зависит от диаметра рабочего ролика. С увеличением диаметров роликов сила давления заготовки на рабочие ролики увеличивается и величина упругой деформации роликовых волок с большей статической жесткостью при равных режимах обжатия за переход может оказаться больше, чем упругая деформация роликовых волок, у которых статическая жесткость меньше при меньшем диаметре рабочего ролика ($c_{пр,3} > c_{пр,1}$);

- при увеличении обжатия за переход жесткость роликовых волок с опорными роликами и рабочими роликами малого диаметра увеличивается за счет более рационального распределения усилий в опорных группах роликов, воспринимающих силу давления заготовки на рабочий ролик ($c_{пр,3}^l > c_{пр,3}$).

Вывод

Разработана методика проведения экспериментальных исследований статической и технологической (относительной) жесткости клетей роликовых волок различных конструкций.

Показано, что абсолютная жесткость роликовых волок не позволяет в полной мере оценить выравнивающую способность роликовой волоки в процессе волочения. В технологических расчетах режимов деформации целесообразно использовать такой параметр как относительную жесткость роликовых волок.

Результаты аналитического исследования нагрузок подшипниковых узлов различных конструкций роликовых волок и результаты экспериментальных исследований технологической жесткости конструкции клетей роликовых волок показали преимущества роликовых волок с опорными роликами и рабочими роликами малого диаметра по сравнению с традиционными конструкциями двухроликовых волок и роликовых волок с опорными роликами равного диаметра

Список литературы

1. Добров И.В. Анализ конструкций роликовых волок для производства арматурной проволоки периодического профиля (Сообщение 2) / Добров И.В., Буравлёв И.Б., Гаркави Н.Я. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* - 1998. - №2. - С.67-69.
2. В.И. Большаков. Разработка прогрессивного оборудования, технологии изготовления и контроля арматурной проволоки, соответствующей требованиям ISO 10544 / В.И. Большаков, И.В. Добров. // *Металлургические процессы и оборудование.* -2008. - №3(13). -С. 12 -18.
3. В.И. Большаков. Комплексный подход к решению задач освоения производства арматурной проволоки, соответствующей требованиям ISO 10544 (Сообщение 1) / В.И. Большаков, И.В. Добров // *Производство проката.* -2008. - №11. - С. 23-27.
4. А.с. 1058149 СССР, МКИ В21С 3/06. Клеть роликовой волоки / И.В. Добров, В.Н. Морозенко, И.Б. Буравлев [и др] (СССР). - №3421098/22-02; заявл. 12.04.82; опубл. 01.04.82; Бюл. №43. -8с.
5. Патент №2074 (Україна). Клітка роликової волоки "ДІВ-6в" /И.В. Добров/. - №93300958. Заяв. 20.01.1993 Опубл. в Б.И." *Промислова власність*", №5, 1994.
6. Полухин П.И. Прокатка на многовалковых станах / П.И. Полухин, В.П. Полухин, А.Ф. Пименов [и др.] - М.: *Металлургия.* 1981.- 248с.
7. Третьяков А.В. Теория, расчет и исследование станов холодной прокатки / А.В. Третьяков - М.: *Металлургия,* 1986. - 255с.
8. Сафьян А.М. Развитие теоретических основ и реализация комплексной технологии производства высокопрочных полос высших категорий плоскостности: дис. доктора. технич. наук: 05. 03. 05 – Донецк, 1998. - 354с.