

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШАГОВОЙ ПРОКАТКИ ПРЯМЫМ И ОБРАТНЫМ ХОДОМ

Г.И. Коваль

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE STEP-BY-STEP ROLLING IN FORWARD AND REVERSE MOTION

G.I. Koval

Представлены результаты экспериментального исследования на опытном стане СШР-82,5 шаговой прокатки прямым и обратным ходом с подачей заготовки валками.

*Ключевые слова:* шаговая прокатка, прямой и обратный ход, экспериментальное исследование.

The paper presents the results of experimental research of step-by-step rolling in forward and reverse motion with billet feed by rolls on a test mill SShR-82.5.

*Keywords:* step-by-step rolling, forward and reverse motion, experimental research.

Экспериментальные исследования нового способа шаговой прокатки прямым и обратным ходом сплошных профилей [1, 2] и труб [3] производились на опытном стане шаговой прокатки СШР-82,5 [4] с целью:

- проверки принципиальной возможности осуществления процесса шаговой прокатки с обжатием заготовки по смежным сторонам последовательно прямым и обратным ходом двумя парами валков при соответствия кинематических условий перемещения заготовки ранее разработанным теоретическим положениям [5, 6], согласно которым в каждом шаге деформации соотношение между перемещением заготовки прокатными валками в сторону готового профиля перед обжатием обратным ходом и перемещением заготовки прокатными валками в ту же сторону перед обжатием прямым ходом равно вытяжке заготовки;

- проверки условий, обеспечивающих выкатку переднего и докатывание заднего концов заготовки при подаче ее валками;

- определения влияния радиуса кривошипа привода возвратно-поступательного перемещения прокатной клетки на подачу заготовки;

- проверки влияния условий трения между валками и заготовкой на ее перемещение;

- проверки теоретического предположения об «автоматическом» восстановлении проектной подачи  $m$  после принудительного ее изменения во время прокатки;

- определения принципиальной возможности осуществления нового способа холодной шаговой прокатки труб на оправке;

- разработки рекомендаций по конструкции прокатного стана для реализации нового способа прокатки.

В качестве исходных заготовок при исследовании использовались сплошные круглые профили диаметром 20 мм, длиной 400 мм из свинца марки СО и алюминия марки АД, а также полые гильзы из свинца марки СО и меди марки М2М с наружным диаметром 20 мм, толщиной стенки 2 мм и длиной ~200 мм.

Получаемый прокат: квадратные профили 10×10 мм ( $\lambda_{пр} = 3,14$ ) и трубы с наружным диаметром 14 мм, толщиной стенки 1,5 и 0,75 мм.

На первом этапе проведено исследование влияния углов  $\varphi_{11}$ ,  $\varphi_{21}$ ,  $\varphi_{12}$ ,  $\varphi_{22}$  (рис. 1), характеризующих положение начала и окончания деформации заготовки при обратном и прямом ходе клетки, на осуществление подачи заготовки валками. На рис. 1 обозначено:  $v_{кл}$  – изменение скорости прокатной клетки в зависимости от угла поворота валка (кривошипа);  $v_{11}$ ,  $v_{12}$  – изменения окружных скоростей рабочих поверхностей пар валков, деформирующих обратным и прямым ходом соответственно;  $S_I$ ,  $S_{II}$ ,  $S_{III}$ ,  $S_{IV}$ ,  $S_V$ ,  $S_{VI}$  – площади, характеризующие разности интегральных значений окружных скоростей рабочих поверхностей валков и скорости прокатной клетки.

Положительные значения площадей характеризуют перемещение заготовки в направлении подачи и наоборот.

Согласно рис. 1 значения углов  $\varphi_{11}$ ,  $\varphi_{21}$  и  $\varphi_{12}$ ,  $\varphi_{22}$  существенно влияют на величину подачи. В результате экспериментов при прокатке сортовых профилей установлено, что при угле  $\varphi_{11}$ , равном 10 и 15 градусов, обеспечивается стабильная подача заготовки на всех стадиях процесса прокатки: выкатке переднего конца заготовки, установившемся

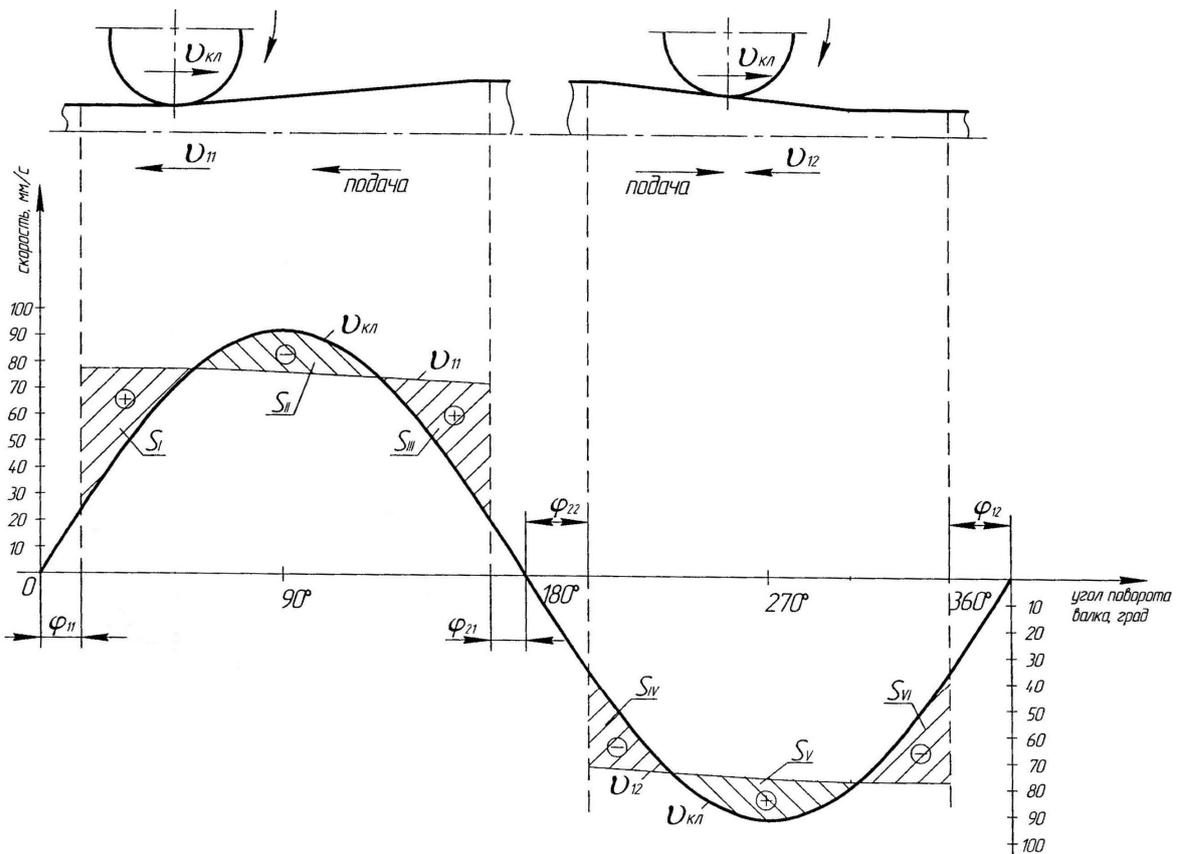


Рис. 1. Кинематика рабочей поверхности валков и прокатной клетки в течение цикла шаговой прокатки

процессе прокатки и докатывани заднего конца заготовки. Поэтому дальнейшие исследования проводились при указанных значениях угла  $\varphi_{11}$ .

Исследование перемещения заготовки между циклами прямого и обратного хода клетки проводилось при прокатке квадратных профилей. При этом с помощью миллиметровой линейки определялось перемещение переднего и заднего концов заготовки в конце и в начале прямого и обратного ходов клетки (рис. 2, 3). Прокатную клетку в конце ее прямого и обратного хода останавливали. В это время образовывался зазор между деформируемой

заготовкой и рабочей поверхностью валков. После остановки прокатной клетки замерялись расстояния переднего  $L_{ПК1}$ ,  $L_{ПК2}$  и заднего  $L_{ЗК1}$ ,  $L_{ЗК2}$  концов заготовки от края рамы вводной и выводной проводок. Перемещение переднего конца заготовки, являющееся произведением подачи заготовки  $m$  на ее вытяжку  $\lambda$ , определялось как разница между предыдущим и последующим значениями расстояний переднего конца заготовки от края рамы выводной проводки после прокатки:

$$(m \lambda)_1 = L_{ПК1i} - L_{ПК1(i+1)}, \quad (1)$$

$$(m \lambda)_2 = L_{ПК2i} - L_{ПК2(i+1)}. \quad (2)$$

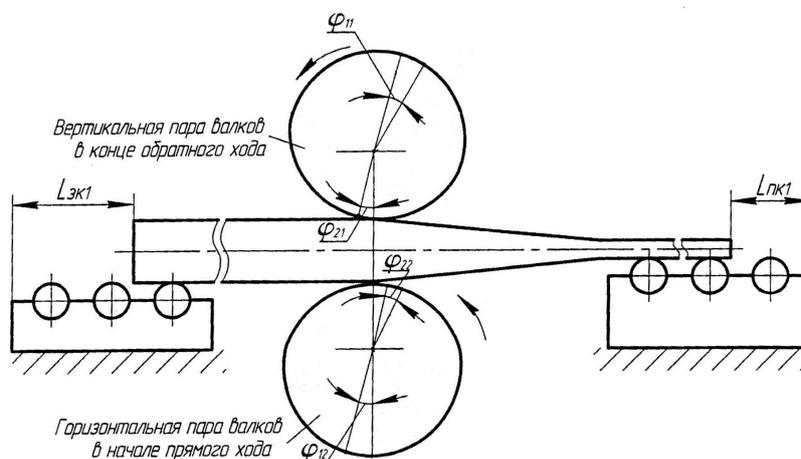


Рис. 2. Положение прокатной клетки, валков и заготовки в конце обратного хода

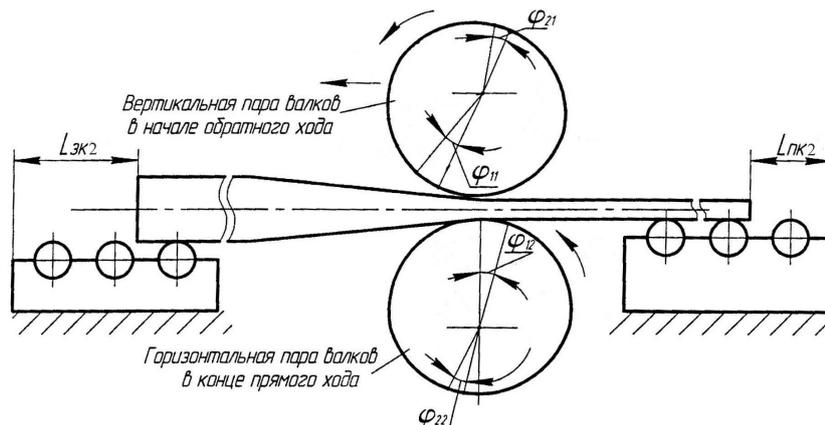


Рис. 3. Положение прокатной клетки, валков и заготовки в конце прямого хода

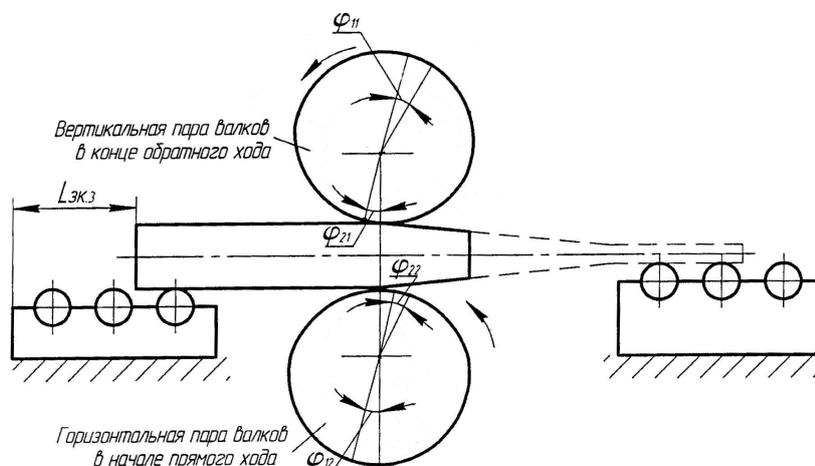


Рис. 4. Положение прокатной клетки, валков и заготовки в конце обратного хода при выкатке переднего конца заготовки

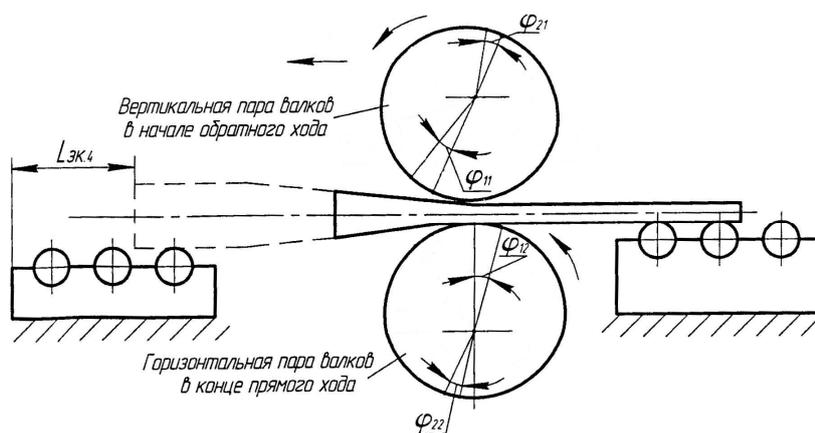


Рис. 5. Положение прокатной клетки, валков и заготовки в конце прямого хода при докатывании заднего конца заготовки

Перемещение заднего конца заготовки, которое является подачей заготовки, определялось как разница между последующим и предыдущим значениями расстояний заднего конца заготовки от края рамы вводной проводки:

$$m_1 = L_{ЗК1i} - L_{ЗК1(i+1)}, \tag{3}$$

$$m_2 = L_{ЗК2(i+1)} - L_{ЗК2i}. \tag{4}$$

Соотношение между перемещениями перед-

него и заднего концов заготовки в каждом цикле установившегося процесса шаговой прокатки перед обжатием обратным и прямым ходом:

$$\lambda_1 = (m \lambda)_1 / m_1, \tag{5}$$

$$\lambda_2 = (m \lambda)_2 / m_2. \tag{6}$$

Аналогичным образом проводилось определение величины подачи при выкатке переднего (рис. 4) и докатывании заднего (рис. 5) концов за-

готовки. При этом замерялось положение заднего  $L_{3К3}$  и  $L_{3К4}$  конца заготовки.

Перемещение заднего конца заготовки определялось соотношениями:

$$m_{ПК} = L_{3К3(i+1)} - L_{3К3i}, \quad (7)$$

$$m_{ЗК} = L_{3К4(i+1)} - L_{3К4i}. \quad (8)$$

Экспериментальные исследования по определению соотношения между перемещениями переднего и заднего концов заготовки в каждом цикле установившегося процесса шаговой прокатки перед обжатием обратным и прямым ходом (рис. 6) и перемещения заднего конца заготовки соответственно при выкатке переднего конца заготовки (рис. 7) и докатывании ее заднего конца (рис. 8) показали, что процесс прокатки на всех стадиях проходит достаточно стабильно, если рассматри-

вать это с позиций его практического применения. Подтверждено, что соотношение между перемещениями переднего и заднего концов заготовки в каждом цикле установившегося процесса шаговой прокатки перед обжатием обратным и прямым ходом с учетом погрешности экспериментов равно вытяжке заготовки. «Колебания» параметров подачи по циклам прокатки при установившемся процессе объясняется разнотолщинностью исходной заготовки, действием осевых усилий на заготовку при прохождении ее через роликовые проводки и т. п. Изменение подачи при выкатке переднего конца заготовки и при докатывании ее заднего конца объясняется соответствующим изменением длины деформируемой части заготовки (конуса деформации) и нахождение ее в соответствующей кинематической зоне (см. рис. 1), характеризующейся соотношением окружных скоростей рабочей поверхности валков  $v_{11}$ ,  $v_{12}$  и скорости прокатной клетки  $v_{кл}$ .

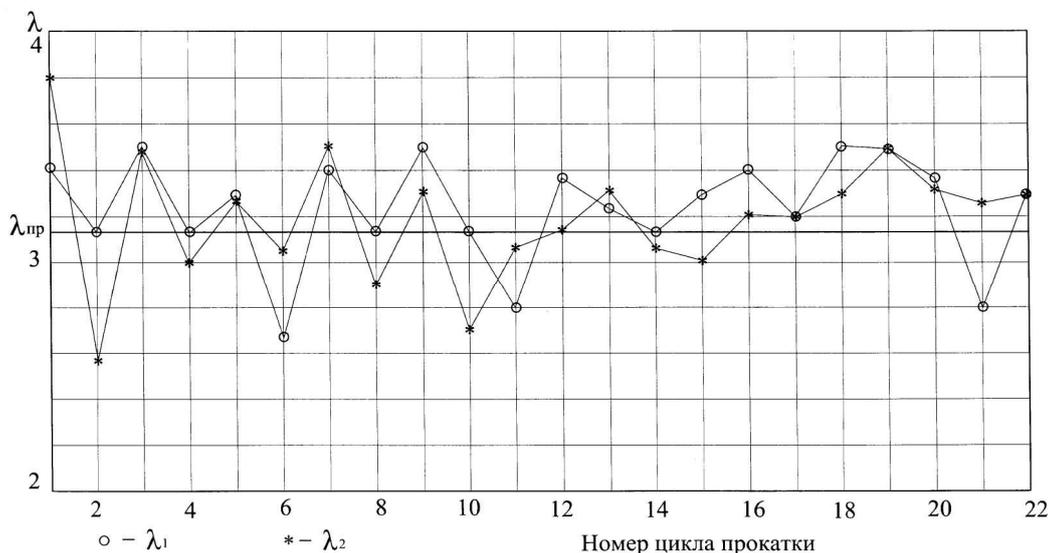


Рис. 6. Соотношение между перемещениями заготовки в сторону готового профиля перед обжатием обратным и прямым ходом

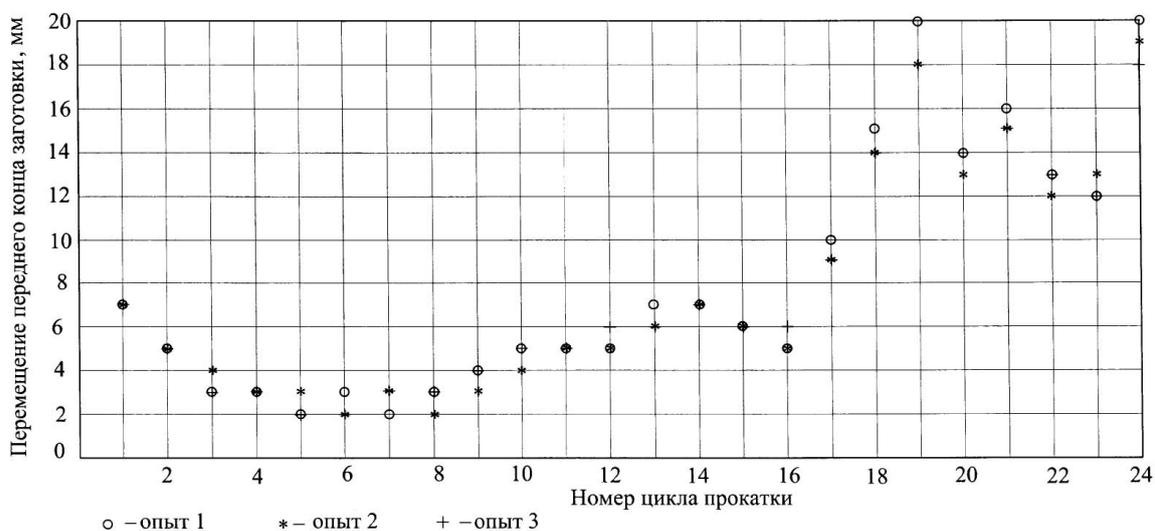


Рис. 7. Изменение подачи заготовки при выкатке переднего конца заготовки

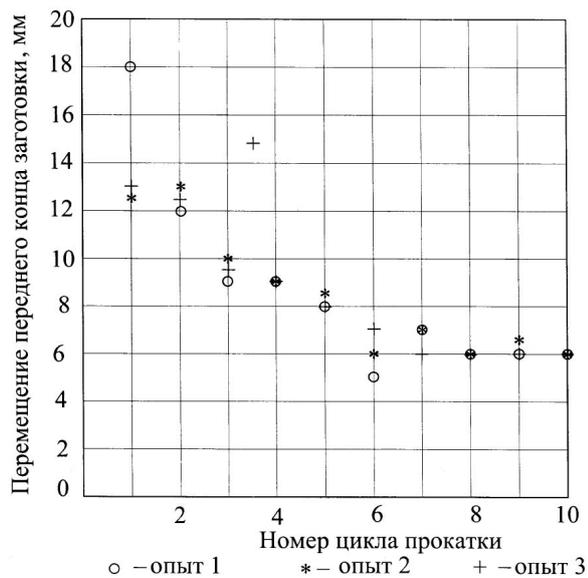


Рис. 8. Изменение подачи заготовки при докатывании заднего конца заготовки

Исследование процесса «автоматической» установки проектного режима подачи производилось следующим образом.

После выкатки на заготовках конуса деформации принудительно изменяли подачу по сравнению с проектной. В одном случае подачу уменьшали с 8 до 2, 3 и 4 мм, а в другом случае подачу увеличивали с 8 до 10, 12 и 14 мм. Для этого прокатную клетку останавливали в положениях перед началом прямого и обратного хода, когда между рабочими поверхностями валков и заготовкой образовывался зазор. Для уменьшения подачи заготовку перемещали вручную в сторону ее исходных размеров, а для увеличения подачи – в сторону

готового профиля. Затем включался привод прокатной клетки и продолжалась прокатка заготовки. При этом по методике, описанной выше и проиллюстрированной на рис. 2 и 3, производился замер положений заднего конца заготовки. После этого по формулам (3), (4) определялось перемещение заднего конца заготовки, т. е. ее подача. Результаты данного эксперимента приведены на рис. 9 и 10.

Согласно рис. 9, 10 как после принудительного уменьшения подачи, так и после ее принудительного увеличения через 10–11 циклов прокатки проектная подача восстанавливается.

Подтверждением факта «автоматического» восстановления проектной подачи заготовки является также рис. 6, на котором показан график изменения проектной вытяжки  $\lambda_{пр}$  и соотношения между перемещениями переднего и заднего концов заготовки в сторону готового профиля перед обжатием обратным и прямым ходом, вычисляемые по формулам (5) и (6), которые можно назвать условными вытяжками заготовки. Согласно этим графикам среднеинтегральные значения условных вытяжек  $\lambda_1, \lambda_2$  заготовки отличаются от проектной вытяжки  $\lambda_{пр}$  в пределах погрешности экспериментов.

Из этого можно сделать однозначный вывод о том, что новый процесс шаговой прокатки обладает свойством «автоматического» восстановления проектной подачи заготовки, являющимся одним из важнейших условий его применения в производственных условиях.

Определение влияния радиуса кривошипа на величину подачи производилось путем перестановки кривошипов в соответствующие расточки в корпусах кривошипов [4], которые позволяют устанавливать радиус кривошипа равным 92; 94; 96 и 98 мм.

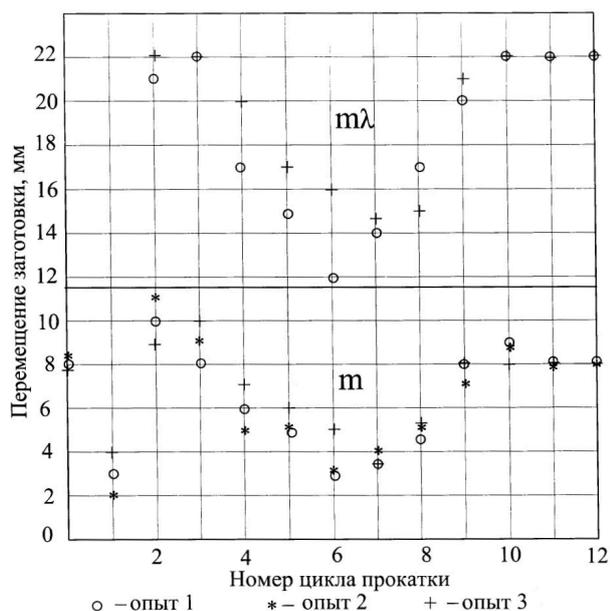


Рис. 9. Восстановление проектного режима подачи заготовки ( $m = 8$  мм) после ее уменьшения

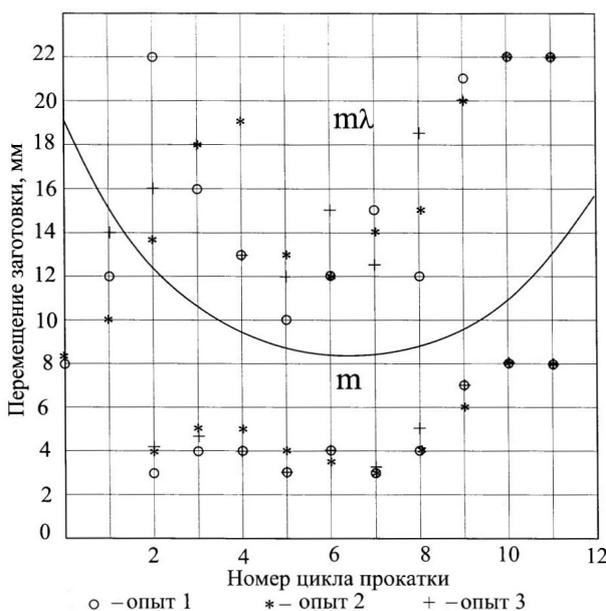


Рис. 10. Восстановление проектного режима подачи заготовки ( $m = 8$  мм) после ее увеличения

Количественные данные по результатам исследований влияния радиуса кривошипа на подачу не приводятся, так как при эксперименте установлено, что радиус кривошипа практически не влияет на подачу заготовки.

Для исследования влияния на прокатку условий трения между деформируемой заготовкой и рабочей поверхностью валков применялись следующие варианты. Для снижения коэффициента трения на поверхность заготовки и рабочие поверхности валков наносилась густая смазка (литол), а для повышения коэффициента трения на указанные поверхности наносился мел. Исследования показали, что при существующей клиновидности валков условия трения практически не влияют на захват заготовки валками, на установившийся процесс прокатки и подачу заготовки.

С использованием результатов исследований при прокатке сплошных квадратных профилей были выполнены исследования процесса прокатки полых изделий (труб).

При прокатке труб по сравнению с прокаткой сплошных круглых профилей требуется обеспечение образования зазора между гильзой и оправкой. Это достигается, как подтвердили экспериментальные исследования, применением калибровки валков с повышенной «овальностью» и с большими выпусками, чем при прокатке сплошных круглых профилей.

Другим важным вопросом при прокатке труб является выбор конусности оправки. При экспериментальном исследовании использовались как цилиндрические, так и конусные оправки. Причем конусность выполнялась на всей длине рабочей зоны оправки и на части ее длины. Экспериментальные исследования показали, что для обеспечения свободного перемещения деформируемой гильзы по оправке требуется применение оправки с конусностью по всей ее длине, а также необходимость применения смазки между гильзой и оправкой. В качестве смазки применялся дисульфид молибдена ( $\text{MoS}_2$ ) и литол.

Одновременно экспериментальные исследования выявили ряд принципиальных недостатков стана СШР-82,5 [4]. В частности, трудоемка пере-валка клетки, неудобна настройка калибра из-за отсутствия устройства для уравнивания валков. Это требует многократной перестановки и крепления узлов валков к корпусу кассеты с последующей проверкой размера зазора между рабочими поверхностями валков с помощью оправки. Трудоемка, а иногда невозможна настройка взаимного углового положения пар валков и взаимного углового положения самой пары валков. Это связано с тем, что регулировку углового положения валков можно производить с интервалом 20 град, определяемым шагом шлица зубчатых муфт. Также затрудняет настройку стана жесткая кинематическая связь горизонтальной пары валков с

корпусом кривошипа, так как изменение положения кривошипа ведет к нарушению предварительно выполненной настройки взаимного углового положения пар валков.

Можно заключить, что конструкция опытного стана, обеспечивая возможность проверки основных принципов, положенных в основу новой технологии шаговой прокатки, требует существенного изменения при создании опытно-промышленного стана. Для этих целей наиболее эффективно использование четырехвалковых прокатных клетей с индивидуальным приводом валков [7] или универсальных прокатных клетей с попарным приводом валков [8]. Хотя в последнем случае уменьшаются углы поворота валков, при которых осуществляется обжатие заготовки.

### Выводы

1. Выполненный комплекс экспериментальных исследований показал, что процесс шаговой прокатки с поочередным обжатием заготовки прямым и обратным ходом двумя взаимно перпендикулярными парами валков осуществляется стабильно, при прокатке сплошных профилей выполняются все технологические операции, положенные в основу нового способа шаговой прокатки: подача заготовки валками при выкатке ее переднего конца, при установившемся процессе прокатки и при докатывании ее заднего конца.

2. Подтверждено, что соотношение между перемещениями заготовки в каждом цикле установившегося процесса шаговой прокатки перед обжатием обратным и прямым ходом с учетом погрешности экспериментов равны вытяжке заготовки, что является основным условием осуществления нового процесса шаговой прокатки.

3. Установлено, что основным параметром, влияющим на подачу заготовки валками, является соотношение длин окружности рабочих поверхностей пар прокатных валков. Радиус кривошипа привода возвратно-поступательного перемещения прокатной клетки и условия трения между валками и заготовкой практически не влияют на подачу заготовки.

4. Подтверждено, что шаговая прокатка с поочередным обжатием заготовки прямым и обратным ходом двумя взаимно перпендикулярными парами валков обладает свойством «автоматического» восстановления проектной подачи заготовки валками.

5. Показана принципиальная возможность осуществления предложенного способа холодной шаговой прокатки труб, исследования которого следует продолжить с уточнением калибровки валков, конусности и диаметра оправки, протяженности углов  $\varphi_i$ , выбора параметров демпфирующего устройства для свободного перемещения оправки с гильзой-трубой вдоль оси прокатки.

6. Выявлены недостатки в конструкции опытного стана СШР-82,5. Предложены эффективные

для промышленного применения разработанного способа прокатки четырехвалковые клетки с индивидуальным приводом валков или универсальные клетки с попарным приводом валков.

Работа финансировалась Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

В проведении экспериментальных исследований принимал участие В.Г. Дремин.

#### Литература

1. Пат. 2252830 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 21 В 1/42. Способ шаговой прокатки / Г.И. Коваль., Т.Г. Каримова. – № 2004110352/02; заявл. 05.04.2004; опубл. 27.05.2005, Бюл. № 15. – 12 с.

2. Коваль, Г.И. Основы нового способа шаговой прокатки / Г.И. Коваль // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2005. – Вып. 6. – № 10 (50). – С. 72–76.

3. Пат. 2129926 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 21 В 17/00. Способ холодной прокатки труб на оправке в двух взаимно перпендикулярных парах валков переменного радиуса / Г.И. Коваль. –

№ 98107541/02; заявл. 21.04.1998; опубл. 10.05.1999, Бюл. № 13. – 12 с.

4. Коваль, Г.И. Опытный стан шаговой прокатки СШР-82,5 / Г.И. Коваль, В.Г. Дремин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – В настоящем выпуске.

5. Коваль, Г.И. Формоизменение при шаговой прокатке прямым и обратным ходом / Г.И. Коваль // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2007. – Вып. 8. – № 13 (85). – С. 21–23.

6. Коваль, Г.И. Параметры валков и привода возвратно-поступательного перемещения осей их поворота для шаговой прокатки прямым и обратным ходом / Г.И. Коваль, М.И. Гасленко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2011. – Вып. 17. – № 36 (253). – С. 81–83.

7. Коваль, Г.И. Многофункциональный стан для сортовой прокатки / Г.И. Коваль, С.З. Хабиров, В.Г. Дремин // Производство проката. – 2008. – № 4. – С. 45–48.

8. Коваль, Г.И. Особенности шаговой прокатки прямым и обратным ходом при смещении осей пар валков / Г.И. Коваль, С.З. Хабиров., В.Г. Дремин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2007. – Вып. 9. – № 21 (93). – С. 28–32.

Поступила в редакцию 6 марта 2012 г.