

УДК 621.982:539.319

Бояршинов М.Г., Гитман М.Б.

РАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ПРАВКИ КРУГЛЫХ И ШЕСТИГРАННЫХ ПРУТКОВ*Abstract*

The rational roller leveller parameters for straightening of the beams with circular and hexagonal cross section.

The roller leveller is a device with two lines of free-rotating or drive rollers positioned in a checkerboard pattern. Empirical determination of the correct roll intermesh requires significant expenditure. Hence, a theoretical determination of the rational (near the optimal) solution of this problem is required. In contrast to known paper, the authors propose the original method allowing one to solve the mentioned problem using the plastic working degree of the beam cross section. The rational regimes of the beam levelling for the wide ring of the beam cross section sizes are determined.

Технологические операции правки длинномерных прутков на роликовых правильных машинах (РПМ) обусловлены необходимостью снижения искривленности, получаемой прутками в результате термообработки, до значений, регламентируемых условиями последующей механической обработки. Для рассматриваемого в работе процесса правки используется правильная машина, представляющая собой секцию из 11 роликов, расположенных в шахматном порядке (рис.1).

Сложность эксплуатации РПМ заключается в необходимости определения точной настройки для каждого типа профиля (круг, квадрат, шестиугольник и т.п.), его размера, марки материала, вида термообработки, величины начальной искривленности и т.д. Как правило, режим правки определяется экспериментально, что требует значительных затрат времени и материалов, но не

гарантирует оптимальности найденных вариантов настройки РПМ.

Для теоретического исследования процессов знакопеременного изгиба на основе алгоритма [1,2] создан компьютерный комплекс программ "ИЗГИБ", позволяющий моделировать механические процессы, происходящие в деформируемых профилях, определять кривизну, прогибы изделия, величину деформации удлинения, силовые параметры РПМ, распределение остаточных напряжений по сечению профиля. Отличительной особенностью программного комплекса "ИЗГИБ" является возможность исследования и учета истории деформации материальных частиц при их движении в процессе изгиба. Компьютерная модель реализована на ЕС ЭВМ и гвм РС/АТ, снабжена сервисным обеспечением блоков подготовки данных и отображения результатов. Основными допущениями модели [1,2] является гипотеза плоских сечений, условие одноосного напряженного состояния. Исследуемый процесс считается стационарным, квазистатическим. Для учета эффекта Баушингера при

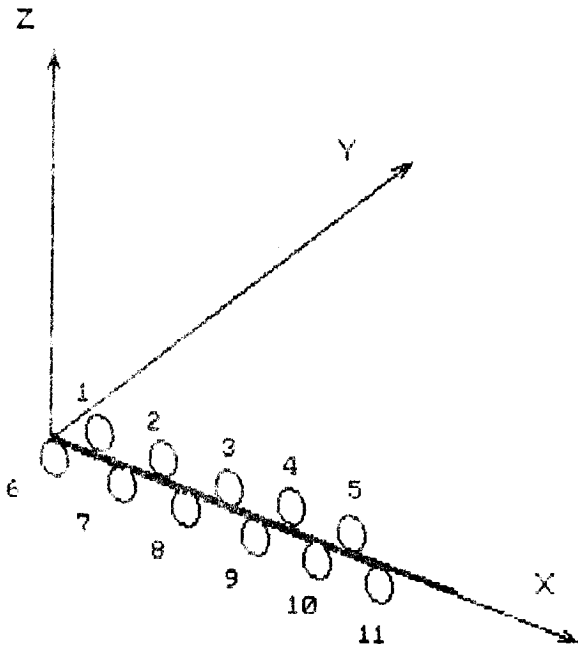


Рис.1. Схема правки прутков на II-роликовой правильной машине.

описании знакопеременного деформирования используется модель Мазинга [3].

Адекватность модели знакопеременного изгиба [1,2] доказана сопоставлением экспериментальных данных с результатами теоретических исследований процессов правки рельсов Р 65 на 6-роликовой правильной машине [1], правки прутков на 7-роликовой правильной машине [4], рихтовки арматурной проволоки в двух плоскостном роликовом устройстве [2] и ряда других.

Рассмотрим правку на РПМ круглых прутков диаметром от 5 до 21 мм и шестигранных прутков 25-222 (размер "под ключ") из сталей 20Х13 и 14Х17Н2 с отожженных и термообработанных на твердость 24-32 НРС. Диаграммы одноосного растяжения стали* приведены на рис.2 (напряжение рассчитывалось относительно первоначальной площади поперечного сечения, чем объясняется наличие ниспадающего участка диаграммы). С достаточной точностью диаграммы сопротивления материала пластическому деформированию могут быть аппроксимированы зависимостями

$$\sigma_s = a \cdot \varepsilon^b$$

где для отожженной стали 20Х13

$$a = 676,3 \text{ МПа}, b = 0,112;$$

для термообработанной стали 20Х13

$$a = 1172,4 \text{ МПа}, b = 0,0889;$$

для отожженной стали 14Х17Н2,

$$a = 1175,0 \text{ МПа}, b = 0,108;$$

для термообработанной стали 14Х17Н2

$$a = 1357,5 \text{ МПа}, b = 0,09997$$

* Данные лабораторных исследований представлены Л.И.Рожковым
з-д им. М.И.Калинина, г.Пермь

Начальная кривизна прутков (по контрольным замерам) изменяется от 0 до $0,5 \text{ м}^{-1}$ с стрела прогиба от 0 до 65 мм на базе 1 м).

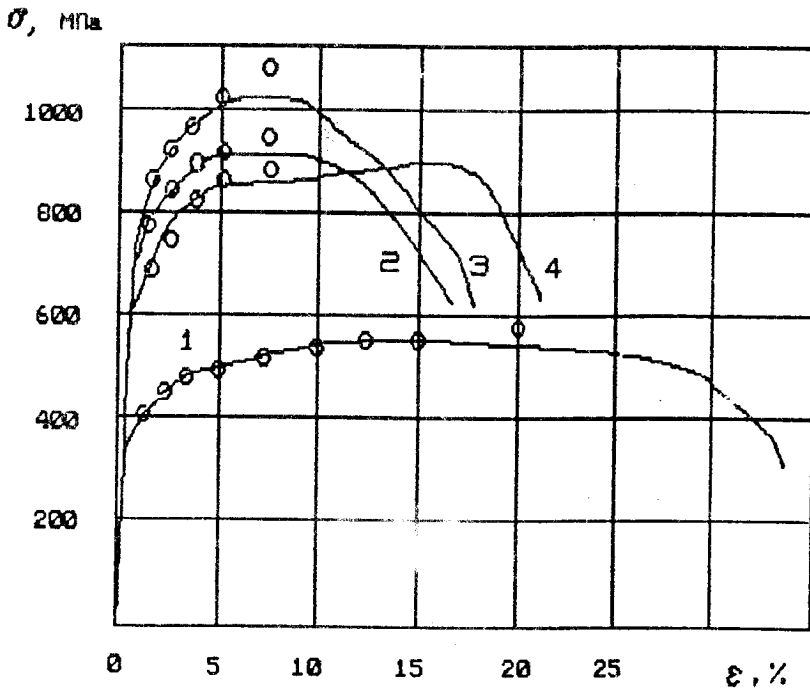


Рис.2. Сопротивление стали пластической деформации

- 1 - 20Х13 (отожженная),
- 2 - 20Х13 (термообработанная),
- 3 - 14Х17Н2 (отожженная),
- 4 - 14Х17Н2 (термообработанная),
- 0 - аппроксимация формулами (1).

В основе практических рекомендаций [1] по эксплуатации РПМ лежит предположение о том, что на первых роликах необходимо создавать значительную искривленность профиля, способствующую "выбыванию" первоначальной кривизны (благодаря значительным пластическим деформациям по объему изделия), и исправляемую в дальнейшем за счет упругопластического изгиба при огибании последующих роликов. Расчеты, проведенные с помощью программного комплекса "ИЗГИБ" показывают, что на 11-роликовой правильной машине целесообразно использовать первые 6-7 роликов для создания стабильной искривленности (мало зависящей от начальной кривизны κ_0), а оставшимися роликами выправлять получаемую искривленность. Для упрощения настройки РПМ принято, что перемещения h_1, h_2, h_3 первых трех роликов верхнего ряда одинаковы.

Для определения оптимальной величины перемещений первых трех роликов проведен вычислительный эксперимент по определению влияния разброса начальной кривизны κ_0 прутков на диапазон изменения остаточной кривизны

$$\Delta \kappa_{ост} = \max_{0.5 \leq \kappa_0 \leq 0.5} \kappa_{ост} - \min_{0.5 \leq \kappa_0 \leq 0.5} \kappa_{ост}$$

в зависимости от настройки РПМ. При проведении расчетов считалось, что последние четыре ролика (4-й, 5-й, 10-й, 11-й, рис.1) разведены и в процессе правки не участвуют.

На рис.3,2 приведены результаты исследования процесса знакопеременного изгиба круглых прутков диаметром 5мм из термообработанной стали 14X17H2. При малых перемещениях роликов верхнего ряда (до -1,0 мм) деформирование происходит упруго, конечная кривизна совпадает с начальной. При больших перемещениях (-8,0...-10,0 и более) значительная часть объема прутка находится в пластическом состоянии, что делает его "чувствительным" к изменению начальной искривленности, вследствие чего диапазон значений $\Delta \kappa_{ост}$ расширяется. Исследование показывает, что существуют режимы, обеспечивающие наименьшее значение $\Delta \kappa_{ост}$. На этом же рисунке показан график

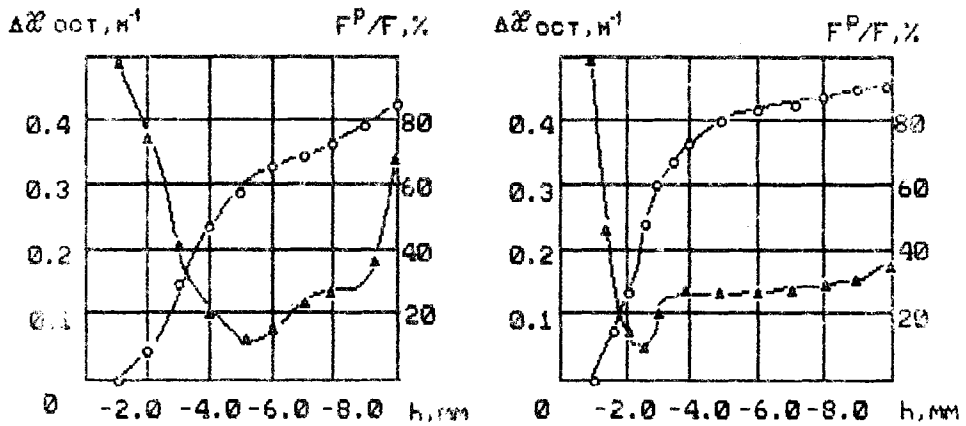


Рис.3. Влияние величины заглабления роликов h на разброс остаточной кривизны $\Delta\kappa_{ост}$ круглых (а) и шестигранных (б) прутков.

- Δ - разброс остаточной кривизны,
- \circ - степень проработки сечения пластическими деформациями.

изменения степени пластической проработки сечения прутка

$$\eta = \max_{0 \leq z \leq l} \frac{F^P(z)}{F}$$

$F^P(z)$ - площадь части поперечного сечения, находящаяся в пластическом состоянии; F - площадь поперечного сечения прутка; l - длина рабочей зоны РПМ в зависимости от величины перемещения роликов верхнего ряда РПМ.

Аналогичное исследование проведено для шестигранных прутков. На рис.3,б показаны графики, отражающие деформирование прутков $\Sigma 6$ из отожженной стали 14Х17Н2.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что наименьшему разбросу значений остаточной кривизны соответствуют те режимы знакопеременного изгиба, при которых пластическое деформирование охватывает 45...65% площади поперечного сечения прутка. В связи с этим степень пластической проработки сечения η может быть использована в качестве критерия при определении величины перемещений первых трех роликов верхнего ряда РПМ, обеспечивающих минимальный разброс значений остаточной кривизны.

Поиск рациональных режимов правки производится в следующей последовательности. Для прутка данного размера определяется режим правки на РПМ с 7 роликами (четыре последних считаются разведенными и в процессе не участвуют), обеспечивающий при изменении начальной кривизны в пределах $0...0,5 \text{ м}^{-1}$ минимальный разброс остаточной искривленности. Поиск такого режима производится с использованием показателя степени пластической проработки η . При расчетах принимается, что $h_1 = h_2 = h_3$.

Далее, при найденных величинах h_1, h_2, h_3 определяются перемещения h_4 и h_5 двух последних роликов верхнего ряда, обеспечивающие снижение остаточной кривизны до минимального по модулю значения.

В таб. I приведены результаты определения рациональных режимов, обеспечивающих правку круглых прутков во всем диапазоне изменения начальной кривизны, а также диапазоны разброса остаточной искривленности, определенные теоретически и экспериментально.

Таблица 1

Рациональные режимы правки круглых прутков из стали
14X17H2, термособработка на 24-32 нрс

Диаметр прутка, мм	Настройка РПМ, мм					Диапазон изменения оста - точной кривизны, м ⁻¹	
	1	2	3	4	5	расчетные значения	экспериментальные данные
7,0	-5,0	-5,0	-5,0	-4,0	-2,3	0,0-0,026	----
8,0	-5,5	-5,5	-5,5	-3,0	-1,5	0,0-0,013	0,012-0,024
9,0	-6,0	-6,0	-6,0	-2,0	-1,0	0,0-0,036	0,004-0,016
10,0	-5,0	-5,0	-5,0	-2,0	-1,0	0,0-0,035	0,008-0,016
11,0	-5,5	-5,5	-5,5	-1,3	-0,5	0,0-0,040	0,000-0,033
12,0	-4,0	-4,0	-4,0	-2,0	-0,5	0,0-0,037	0,004-0,012
13,0	-3,5	-3,5	-3,5	-2,0	-0,8	0,0-0,018	----
14,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,0	-0,8	0,0-0,008	0,004-0,012
15,0	-3,5	-3,5	-3,5	-1,5	-0,5	0,0-0,018	----
16,0	-3,0	-3,0	-3,0	-1,5	-0,6	0,0-0,012	----
17,0	-3,0	-3,0	-3,0	-1,0	-0,7	0,0-0,009	0,008-0,018
18,0	-3,0	-3,0	-3,0	-1,0	-0,5	0,0-0,008	0,000-0,018
19,0	-2,8	-2,8	-2,8	-1,0	-0,5	0,0-0,010	----
20,0	-2,5	-2,5	-2,5	-1,0	-0,5	0,0-0,011	----
21	-2,5	-2,5	-2,5	-1,0	-0,4	0,0-0,007	----

Аналогичное исследование проведено для шестигранных прутков из отожженной стали 14X17H2 (табл.2) и круглых прутков из отожженной стали 20Х13 (табл.3).

Приведенные данные показывают, что с увеличением размера прутков величины перемещений роликов следует уменьшать, поскольку возрастание размеров сечения с при неизменном шаге роликов и той же настройке РПМ приводит к увеличению изгибающих моментов, а следовательно - к расширению зон пластического

Таблица 2

Рациональные режимы правки шестигранных
прутков из отожженной стали
14X17H2

Размер прутка "под ключ" мм	Настройка РПМ, мм				
	1	2	3	4	5
5,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,1
6,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,4	-2,5
7,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,1	-2,1
8,0	-3,0	-3,0	-3,0	-1,7	-1,7
9,0	-2,5	-2,5	-2,3	-1,6	-1,6
10,0	-2,5	-2,5	-2,5	-1,4	-1,3
11,0	-2,5	-2,5	-2,5	-1,2	-1,1
12,0	-2,5	-2,5	-2,5	-1,0	-0,9
13,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,0	-1,0
14,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,0	-0,8
15,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,0	-0,9
16,0	-2,0	-2,0	-2,0	-0,8	-0,7
17,0	-1,5	-1,5	-1,5	-0,8	-0,7
18,0	-1,5	-1,5	-1,5	-0,7	-0,7
19,0	-1,5	-1,5	-1,5	-0,7	-0,6
20,0	-1,5	-1,5	-1,5	-0,6	-0,5
21,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,4	-0,4
22,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,4	-0,3

деформирования. Это, в свою очередь, увеличивает диапазон изменения $\Delta \mu_{\text{ост}}$, что снижает эффективность процесса правки.

Результаты исследования свидетельствуют об эффективности предложенного подхода к определению рациональных режимов правки прутков, учитывающего разброс начальной кривизны изделий.

Таблица 3

Рациональные режимы правки круглых прутков
из отожженной стали 20Х13

Диаметр прутка, мм	Настройка РПМ, мм				
	1	2	3	4	5
5,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,3	-0,9
6,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,2	-1,0
7,0	-2,0	-2,0	-2,0	-1,1	-1,1
8,0	-1,5	-1,5	-1,5	-0,75	-0,8
9,0	-1,5	-1,5	-1,5	-0,9	-0,8
10,0	-1,5	-1,5	-1,5	-0,8	-0,65
11,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,35	-0,4
12,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,65	-0,7
13,0	-1,0	-1,0	-1,0	-0,6	-0,6
14,0	-0,75	-0,75	-0,75	-0,4	-0,4
15,0	-0,75	-0,75	-0,75	-0,45	-0,45
16,0	-0,75	-0,75	-0,75	-0,5	-0,5
17,0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,45	-0,3
18,0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3
19,0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,3	-0,3
20,0	-0,25	-0,25	-0,25	-0,3	-0,2
21,0	-0,25	-0,25	-0,25	-0,2	-0,15
22,0	-0,25	-0,25	-0,25	-0,2	-0,15

Разработанный подход и комплекс вычислительных программ "ИЗГИБ" могут быть рекомендованы для определения рациональных режимов правки профилей различных размеров и форм поперечного сечения из других сталей и сплавов.

Литература

1. Трусов П. В., Гитман М. Б. Методика и результаты исследования напряженно-деформируемого состояния, возникающего при правке прокатных профилей // Изв. высш. учеб. завед. Черная металлургия. - 1982. - № 1. - С. 47-51.

2. Алгоритм исследования напряженно-деформированного состояния проволоки при деформировании знакопеременным изгибом с натяжением / М. Г. Бояршинов, Е. М. Киреев, Б. А. Никифоров, П. В. Трусов // Изв. высш. учеб. завед. Черная металлургия. - 1984. - № 8. С. 79-83; № 10. - С. 63-67.

3. Москвитин В. В. Циклические нагружения элементов конструкций. - М.: Наука, 1981. - 344 с.

4. Бояршинов М. Г., Гитман М. Б., Трусов П. В. Некоторые результаты теоретического исследования технологических процессов знакопеременного изгиба // Обработка металлов давлением. - Свердловск, 1986. - С. 8-14.

5. Ракошиц Г. С., Кузьминцев В. Н. Машинная правка проката, поковок и деталей. - М.: Высшая школа, 1983. - 200 с.

Пермский государственный технический университет