



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-70-78>  
УДК 621.771.063; 621.982.45

Поступила 10.11.2022  
Received 10.11.2022

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ВАЛКОВОЙ ПРАВКИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

*В. А. ТОМИЛО, Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: stamila@rambler.ru*

*И. И. ВЕГЕРА, В. В. ЛЕВКОВИЧ, А. В. ВЕТОШКИН, Физико-технический институт НАН Беларуси,  
г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10. E-mail: anton.vetoshkin.99@gmail.com*

*Представлены особенности технологии правки, возможные дефекты листового металла и штучных заготовок сложной конфигурации. Рассмотрены основные схемы и конструкции листопрямительных машин, а также выделены основные направления совершенствования конструкций ЛПМ и технологий правки. Представлен анализ процесса валковой правки с учетом явлений, протекающих в металле, подвергающемся знакопеременному нагружению с уменьшающейся амплитудой (взаимодействие упругой и пластической деформации, эффект Баушингера и пр.). Отмечена параболическая зависимость остаточной кривизны от предела текучести. Полученные данные использовали при проектировании комплекса валковой правки и технологии правки листовых заготовок сложной конфигурации.*

**Ключевые слова.** Листопрямительная машина, валковая правка, рабочие ролики, пластическая деформация.

**Для цитирования.** Томило, В. А. Технология и оборудование валковой правки листового металла / В. А. Томило, И. И. Вегера, В. В. Левкович, А. В. Ветошкин // *Литье и металлургия*. 2022. № 4. С. 70–78. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-70-78>.

## TECHNOLOGY AND EQUIPMENT OF ROLL STRAIGHTENING OF SHEET METAL

*V. A. TAMILA, Belarusian National Technical University,  
Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: stamila@rambler.ru*

*I. I. VEGERA, V. V. LIAUKOVICH, A. V. VETOSHKIN, Physical-Technical Institute  
of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 10, Kuprevicha str.  
E-mail: anton.vetoshkin.99@gmail.com*

*The features of the editing technology, possible defects of sheet metal and piece blanks of complex configuration are presented. The main schemes and designs of sheet-straightening machines are considered, as well as the main directions of improvement of LSM designs and editing technologies are highlighted. The analysis of the process of roll straightening is presented taking into account the phenomena occurring in a metal undergoing alternating loading with decreasing amplitude (interaction of elastic and plastic deformation, Bauschinger effect, etc.). The parabolic dependence of the residual curvature on the yield strength is noted. The obtained data were used in the design of the roll straightening complex and the technology of straightening sheet blanks of complex configuration.*

**Keywords.** Sheet-straightening machine, roller straightening, working rollers, plastic deformation.

**For citation.** Tamila V. A., Vegera I. I., Liaukovich V. V., Vetoshkin A. V. Technology and equipment of roll straightening of sheet metal. *Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 4, pp. 70–78. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-70-78>.

Правка относится к числу отделочных операций основного производства. Она является необходимо-стью, так как предупредить искривления, нарушение требуемой формы изделия в процессе изготовления не всегда возможно. В тех случаях, когда способ предупреждения искривлений оказывается принципиально возможным, он может оказаться неэффективным по технико-экономическим соображениям. Все это делает процесс правки одной из ответственных операций в технологии изготовления изделий.

В прокатных цехах металлургических заводов правка является одной из основных отделочных операций, значительно улучшающей качество поверхности и правильность геометрической формы готового проката – листов, сортового проката, различных профилей, рельсов, балок, труб.

В кузнечных, прессовых и листоштамповочных цехах машиностроительных заводов правка является отделочной операцией перед отправкой заготовок в механические цехи. Правку применяют также и для

исправления искривлений, короблений и поволок, появляющихся при термической обработке проката, поковок (заготовок) и деталей.

В процессе обработки резанием некоторых деталей, особенно фасонных и длинномерных сплошного и полого сечения также могут возникать искривления. Во всех случаях правка обеспечивает получение изделий более высокой точности, благодаря чему уменьшаются припуски и допуски, объем последующей обработки резанием, трудоемкость и себестоимость изготовления.

Технологические процессы правки в большинстве случаев осуществляют посредством пластического изгиба и растяжения или сжатия. Правка, являясь одной из операций обработки металлов давлением, может оказывать влияние на изменение структуры и свойств металла, что в ряде случаев учитывают при проектировании и изготовлении деталей, так как такие изменения могут влиять на их прочностные и другие свойства.

По характеру приложения нагрузки процессы правки могут быть непрерывными, например при пропуске полосы или штанги между вальцами правильной машины, и прерывистыми, когда изогнутые участки изделия выправляют поочередно, например, при каждом нажатии бойком или штампом прессы, или при ударе молота.

Правка может выполняться как в холодном, так и в горячем состоянии. Правка в горячем состоянии применяется обычно для крупногабаритных изделий, имеющих большие массу и поперечное сечение, в целях снижения необходимого усилия правки.

#### Возможные дефекты листового металла и штучных заготовок сложной конфигурации

Листовой прокат, поступающий с металлургических заводов, требует правки. Кроме того, при транспортировке, резке, сварке и других технологических операциях по изготовлению сварных конструкций в заготовках и элементах могут возникать различные виды остаточных деформаций (рис. 1):

- волнистость – характеризуется радиусом кривизны или отношением высоты волны к ее длине, обычно на базе в 1 м;
- коробоватость – кривизна как в продольном, так и в поперечном направлениях;
- саблевидность – определяется величиной зазора между продольной кромкой и натянутой струной;
- бухтиноватость – (хлопуны, местные выпучины), наличие на листе местных вмятин небольшой глубины (в диаметре менее 1 м);

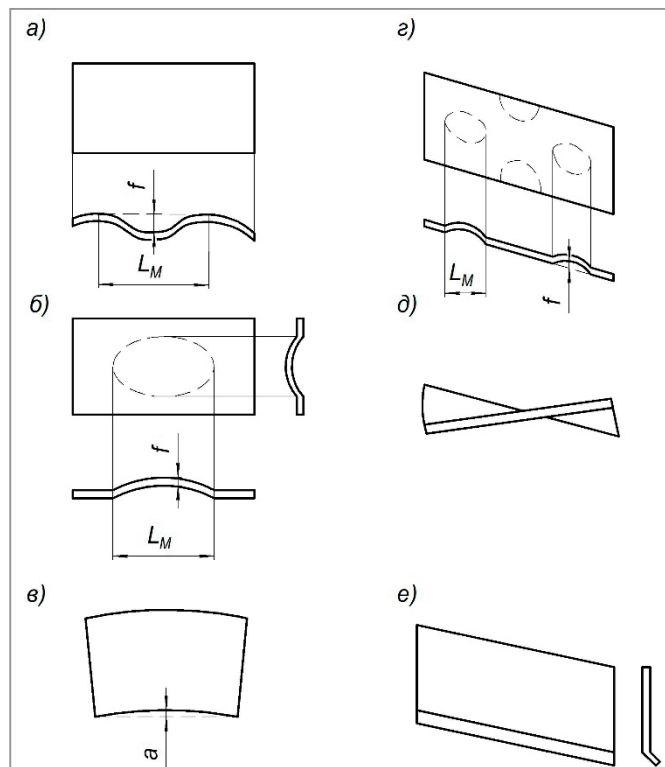


Рис. 1. Остаточные деформации листового, полосового и широкополосной универсальной стали:

*a* – волнистость; *б* – коробоватость; *в* – саблевидность; *г* – бухтиноватость;  
*д* – пропеллерность; *е* – заломленная продольная кромка листа

- винтообразность – уклон противоположных продольных кромок листа в различных направлениях;
- заломленные кромки листа, появляющиеся при резке контура листов, при погрузочно-разгрузочных работах;
- выгиб или местная погнутость листов;
- грибовидность полок.

При наличии в заготовке или элементе двух или более видов остаточных деформаций их необходимо устранять последовательно<sup>1</sup>.

### Основные схемы и конструкции листопрямильных машин

Обзор основных схем и конструкций роликовых машин для правки листов необходимо начать с машин [1], изготовленных ОАО «Уралмаш». Такие машины позволяют править в горячем или холодном состоянии нетермообработанные или термообработанные листы толщиной от 4 до 50 мм и шириной до 3 м. В таблице приведены основные технические параметры листопрямильных машин (ЛПМ) Уралмашзавода.

Основная принципиальная схема ЛПМ ОАО «Уралмашзавода» показана на рис. 2 (здесь и далее цифрами 1, 2, 3 обозначены соответственно рабочие, опорные и направляющие ролики) [2, с. 381, 3]. Машина колонного закрытого типа имеет стационарные нижние ролики. Верхние ролики смонтированы в подвижной траверсе, причем крайние ролики могут индивидуально смещаться относительно нее, обеспечивая захват и выправление листа. Рабочие ролики, кроме крайних, опираются по длине на 2, 3, реже 4 опорных ролика. Привод обычно групповой, а приводные ролики – рабочие.

Оригинальная машина была поставлена Уралмашзаводом на станы 2800, работающие в ОАО «Северсталь», ОАО «НОСТА» и на Коммунарском (Алчевском) металлургическом заводе (рис. 3) [2, с. 383, 3]. В ней два средних верхних рабочих ролика опираются на один стационарный опорный ролик

### Основные технические параметры ЛПМ, поставленных ОАО «Уралмашзавод»

Рабочие ролики ЛПМ			Сортамент листов			Тип	Скорость, м/с	Суммарная мощность, кВт	Место установки	Масса, т
шаг	<i>D</i>	<i>n</i>	<i>h</i> , мм	макс.	$\sigma_s$ , МПа					
220/300	210/235	9	4–10	2000	max 550	ХП	0,2–0,4	256	«Амурсталь»	72
300	250/300	9	4–20	2600	120–480	ГП	0,5–0,95	68	Алчевский Аньшань Ухань «Северсталь» «НОСТА» Алчевский Аньшань Ухань «НОСТА» «Северсталь»	138 138 138 138 82 82 82 82 82
300		9	4–25	2200	120–480	ГП	0,5–0,95	60	«Стомана»	80
420/500	400/415	7	10–25	2000	550	ХП	0,2	267	«Амурсталь»	152
450/475	538/ 445/ 368/ 483	7	12–32	2600	650	ХП	0,1–0,4	250/100	Алчевский Аньшань Ухань «НОСТА» «Северсталь»	250
500	400/450	7	12–50	2600	120–650	ХП, ГП	0,13–0,6	210	Аньшань «Северсталь»	166
600		7	12–50	3200	120–480	ГП	0,2	95	«НТМК»	185
600	400/450	7	15–50	2600	120–480	ГП	0,4–0,8	100	Алчевский Алчевский «НОСТА»	168

Примечание: *n* – число рабочих роликов в машине; *h* – толщина выправляемых листов;  
*b* – ширина выправляемых листов; ХП, ГП – соответственно холодная и горячая правка листов.

<sup>1</sup> ЦНИИС Минтрансстроя, ЦНИИпроектстальконструкция. Руководство по проектированию заводов металлоконструкций. Правка листовых элементов стальных конструкций, режимы и выбор оборудования. М., 1981.

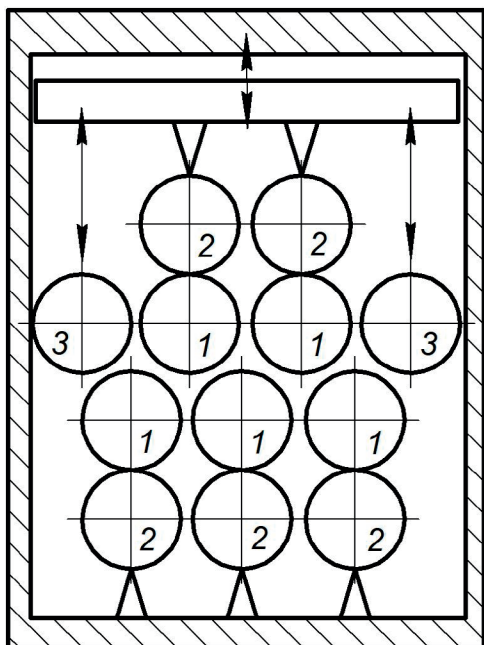


Рис. 2. Схема ЛПМ

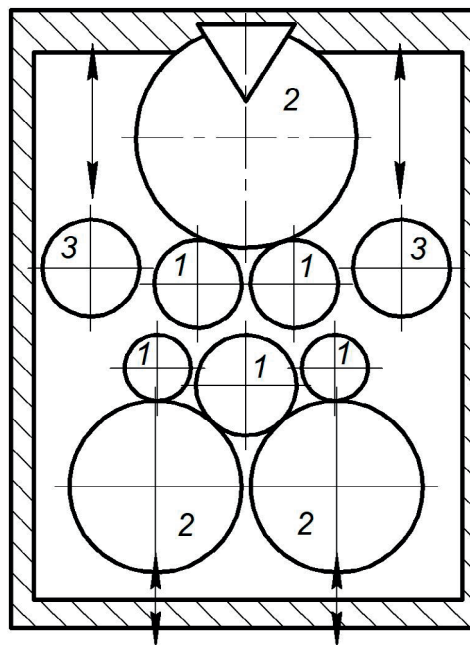


Рис. 3. Схема ЛПМ с большими роликами

большого диаметра. Три нижних ролика опираются на два опорных, которые могут индивидуально перемещаться в вертикальном направлении. Крайние верхние рабочие ролики не имеют опорных, но оснащены индивидуальными нажимными устройствами. Все рабочие ролики приводные, кроме среднего нижнего. Машина отличается большей компактностью и жесткостью, но в связи с приводом непосредственно рабочих роликов требует точного поддержания заложенных соотношений диаметров всех рабочих роликов.

На рис. 4, *а–и* показаны другие известные принципиальные схемы расположения роликов в ЛПМ, которые применяются различными другими машиностроительными компаниями [4, 5, с. 825–827].

Листоправильные машины отличаются не только схемой расположения рабочих роликов вдоль направления правки, их регулируемостью, но и схемой валкового узла. В разных машинах применяются различные схемы валковых систем, которые должны обеспечивать достаточную жесткость рабочего вала и за счет этого равномерную деформацию листа по его ширине во время правки. Для этой цели рабочие ролики стараются опирать на опорные. Не имеют опорных роликов либо наиболее простые машины (рис. 4), либо первый/последний рабочие ролики (см. рис. 2, 3, 4, *в, д, ж–и*).

На рис. 5, *а, б* показаны две основные применяемые схемы валкового узла среднего рабочего ролика 1. В первой схеме число опорных роликов 2 варьируется от 2 до 4, во второй схеме применяется от 9 до 32 опорных роликов. Каждый опорный ролик имеет устройство ручной подрегулировки его высотного положения для того, чтобы во время ремонта или профилактики можно было достичь идеально прямолинейного рабочего ролика или требуемого технологией правки прогиба по его ширине. Отличие схем заключается в расположении опорных подшипников 3. Если число опорных роликов больше двух, часто применяется схема со смещением опорных роликов (см. рис. 4, *ж–и*), что позволяет уменьшить прогиб рабочего ролика вдоль направления правки.

Применяются и другие схемы валкового узла. Наиболее интересным представляется решение ОАО «Уралмашзавод» [6], которое показано на рис. 5, *в* и позволяет выровнять нагрузки на все опорные подшипники независимо от выработки опорных и рабочего роликов, ширины выправляемого листа и его расположения вдоль оси симметрии машины.

На сегодняшний день наиболее простые конструкции машин имеют параллельную регулировку средних роликов (см. рис. 2, 4, *а, б, з*). Более сложные машины позволяют реализовать наклонную настройку роликов, причем наклон ряда роликов может осуществляться за счет перемещения верхних (см. рис. 4, *в, ж, и*), нижних (см. рис. 3, 4, *д*) или обоих рядов (см. рис. 4, *з*) роликов [5, с. 825].

Многие конструкции ЛПМ позволяют осуществлять регулируемый перекосяк по ширине каждого верхнего рабочего ролика, с помощью чего можно повысить эффективность правки серповидности, некоторых дефектов коробоватости и волнистости листового проката [5, с. 826].

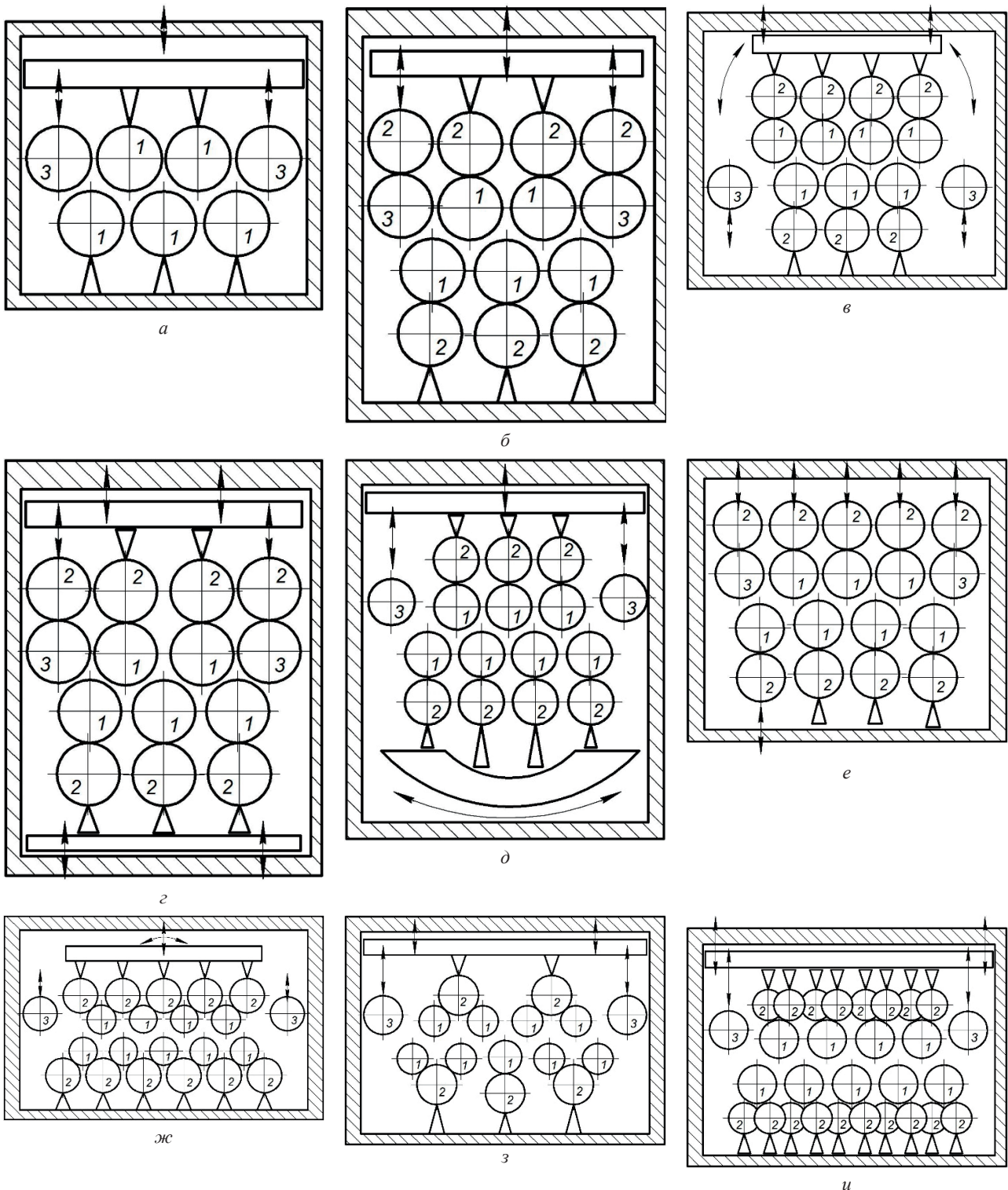


Рис. 4. Схема ЛПМ

Рабочие ролики ЛПМ, как правило, соединены между собой общей траверсой и имеют взаимозависимое перемещение. Машины с индивидуальной настройкой роликов начали появляться только в последнее время у фирмы «SMS-Demag, AG».

Направляющие ролики на входе и выходе почти у всех машин имеют индивидуальную настройку для обеспечения захода листа в ЛПМ и получения необходимой остаточной кривизны на выходе из ЛПМ. Они выполнены, как правило, несколько большего диаметра, чем рабочие ролики, и имеют увеличенный шаг.

Привод практически всех рассматриваемых ЛПМ групповой: от одного, реже от двух электродвигателей через систему редукторов и общую шестеренную клеть. Приводными являются все рабочие, а в некоторых случаях и направляющие ролики.

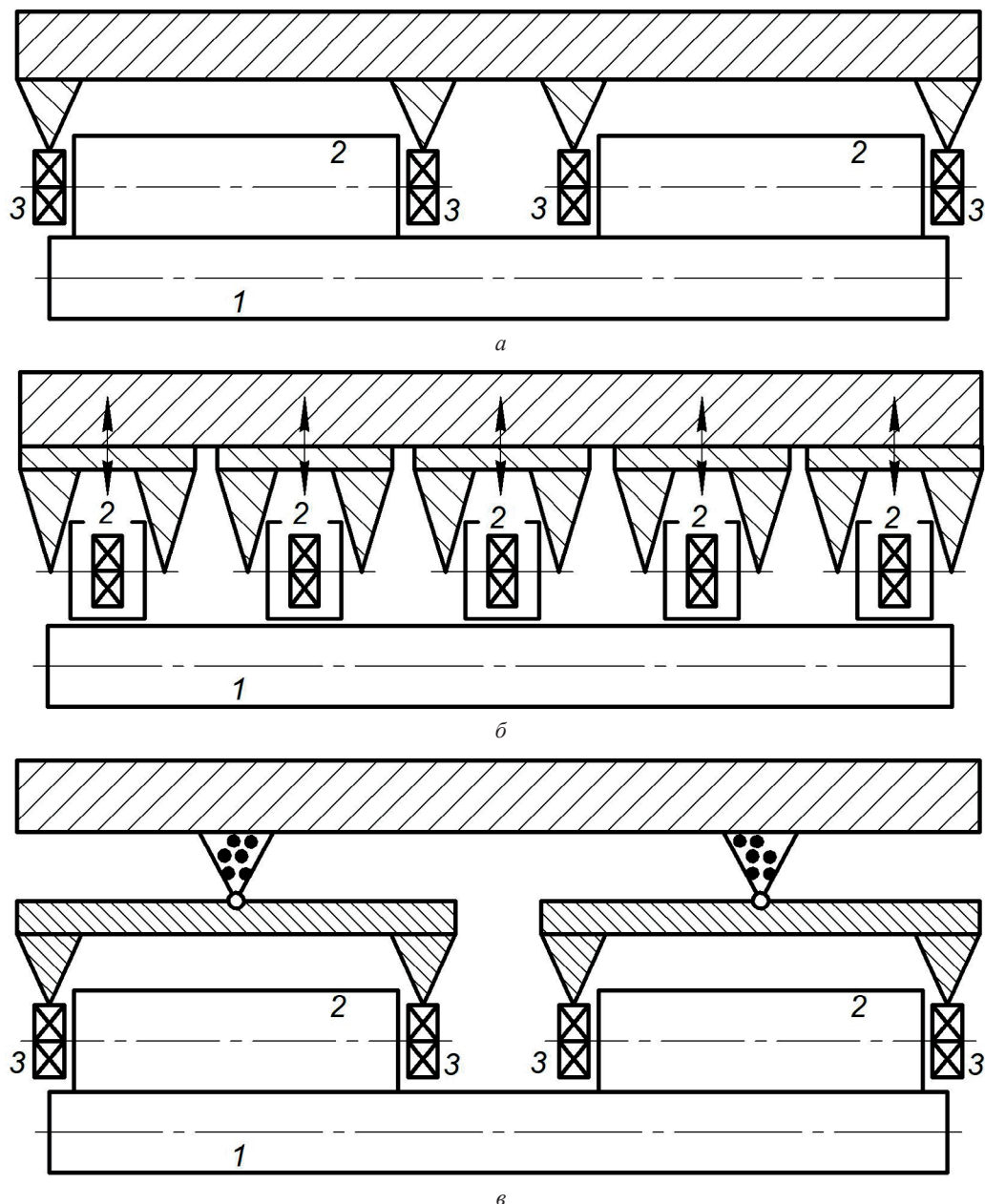


Рис. 5. Схема расположения роликов

В последнее время происходит постепенный переход к машинам с индивидуальным приводом роликов. Такая конструкция привода позволяет предохранить отдельные ролики от перегрузок, которые возникают при групповом приводе, т. е. при замкнутой схеме передачи крутящего момента от общего электропривода через редуктор – шестеренную клетку на все ролики, контактирующие с листом.

Листопрямляющие машины [1] можно разделить на два больших класса: на установленные в потоке и отдельно стоящие. В первом случае правка производится за один пропуск листа, и наиболее важными параметрами являются высокая производительность машины, достижение качественной правки за один проход, быстрая перенастраиваемость на другой сортament, быстрая замена роликовых кассет и т. д. Во втором случае возможен многократный реверсивный пропуск и производительность машины не является ограничением.

Характерной особенностью современных зарубежных машин является автоматическое регулирование положения роликов и крутящих нагрузок с помощью цифровой счетно-решающей системы по показаниям толщиномера, а также применение различных средств автоматического контроля за качеством правки листов. При этом весьма желательной является установка предохранительных устройств для предупреждения перегрузок машины при правке. Практически все последние машины оснащаются автоматическими системами управления процессом правки.

Другая особенность современных зарубежных машин – применение гидравлических устройств настройки роликов вместо электрических. Гидравлические устройства обладают более высоким быстродействием и коэффициентом полезного действия, позволяют регулировать ролики машины в процессе правки. К таким машинам относятся ЛПМ типа UBR, фирм «MDS» и «SMS» (Германия), фирмы НКМЗ (Украина). Некоторые машины начинают оснащаться устройствами противоизгиба рабочих валков.

В то же время эти дорогие системы требуют более высокого уровня обслуживания и применяются в основном для перемещения общей траверсы роликов.

Важным является стремление обеспечить наибольшее количество независимых регулировок машины для расширения технологических возможностей оборудования и обеспечения различных режимов правки разнообразного сортамента. В то же время это стремление ограничивается сложностью систем перемещения валков и валковых систем опорных роликов, которые должны обеспечивать надлежащую жесткость.

В целом можно выделить следующие основные направления совершенствования конструкций ЛПМ и технологий правки:

- создание возможности осуществления правки за один проход при использовании ЛПМ в потоке производства;
- увеличение скорости правки;
- увеличение жесткости машин;
- переход на 4- и 6-рядные конструкции, где рабочие ролики опираются на промежуточные ролики с длинной бочкой, которые, в свою очередь, опираются на опорные ролики с короткой бочкой;
- применение в машинах гидравлических устройств настройки роликов вместо электрических;
- использование устройств противоизгиба и перекоса рабочих роликов по ширине листа;
- автоматизация управления и обслуживания машин;
- автоматическое регулирование нагрузок на ролики с помощью ЭВМ по показаниям датчиков;
- применение различных средств автоматического контроля за качеством правки листов;
- создание и использование математических моделей для выбора оптимальных технологических параметров правки;
- установка предохранительных устройств для предупреждения перегрузок машины по усилиям и крутящим моментам.

### Особенности технологий правки

Рассмотрим возможность достижения наиболее высокого качества правки листов с точки зрения оптимального распределения кривизны изгиба проката по рабочим роликам машины. Имеющийся опыт ОАО «Уралмашзавод» свидетельствует о целесообразности реализации шести зон правки (рис. 6). Такую технологию можно назвать «идеальным» способом правки листов. Для каждой из этих зон характерны свои технологические функции.

Первая зона (зона захода) должна обеспечивать небольшой угол входа листа в машину, уверенный захват и заход листа на первые ролики ЛПМ, задачу его в последующие зоны. Это достигается небольшими изгибами листа, которые постепенно увеличиваются.

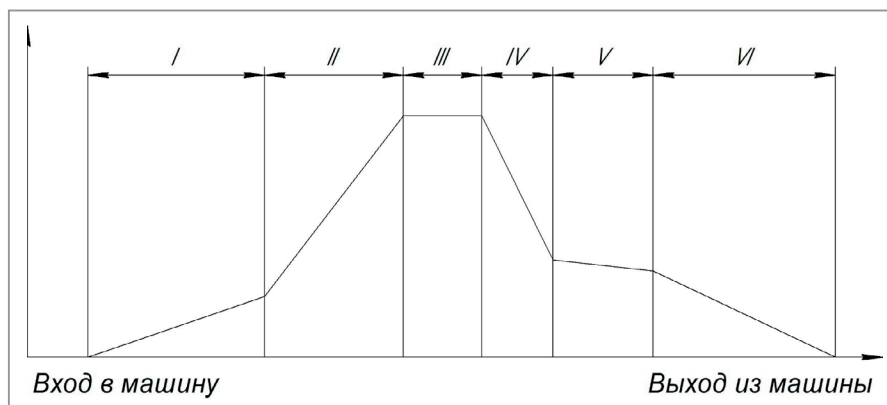


Рис. 6. Рекомендуемое изменение кривизны изгиба проката вдоль ЛПМ при «идеальном» способе правки:

*I* – зона захода; *II* – переходная зона; *III* – зона наибольших деформаций;  
*IV* – переходная зона; *V* – зона стабилизации; *VI* – зона выправления и выдачи

Вторая зона является промежуточной и обеспечивает быстрое увеличение кривизны изгиба до максимальных.

Третья зона – основная и создает в прокате максимальные пластические деформации (зона наибольших деформаций). Для обеспечения эффективной правки необходимо, чтобы пластические деформации в этой зоне достигали 75–80% от площади поперечного сечения листа (коэффициент пластической обработки сечения  $K_{\text{пс}} = 75\text{--}80\%$ ) [4, 7]. При правке только продольной волны достаточно одного наибольшего изгиба, а для правки продольной волны, любого типа коробоватости листов и любых сочетаний таких дефектов следует иметь не менее двух наибольших изгибов разных знаков.

Четвертая зона является промежуточной и обеспечивает быстрое снижение кривизны до необходимых значений в зоне стабилизации.

Пятая зона состоит из постепенно уменьшающихся изгибов проката с целью обеспечить стабильность режима правки по двум показателям. Во-первых, пятая зона призвана обеспечить стабильность правки листов при имеющихся разбросах исходной не прямолинейности, механических свойств и геометрических размеров поперечного сечения листа. Причем здесь имеется ввиду разброс этих параметров как по всей площади одного листа, так и во всей партии одного сортамента. Стабильный режим правки обеспечивает плоскостность в требуемых допусках выправленных листов одного сортамента при минимальных перенастройках последнего ролика (в идеале – за один проход без перенастройки последнего ролика). Во-вторых, здесь следует обеспечить прямолинейность предконцевых участков некачественной правки, которые расположены на расстоянии  $0,7t - 2,0t$  от переднего и заднего торца листа ( $t$  – опорный шаг роликов). Как правило, условия правки этих переходных участков отличаются от условий правки средней части листа и условий изгиба концевых участков, где пластические деформации отсутствуют.

Последняя, шестая зона правки, обеспечивает выправление и достижение нулевой кривизны в любом месте средней части листов, имеющих средние значения исходных параметров. Кроме того, лист должен выдаваться практически горизонтально. Отметим, что последние три зоны должны способствовать получению оптимальной эпюры остаточных напряжений в готовом листе (раздробление и снижение напряжений около поверхности листа [7, с. 96]).

Таким образом, в каждой зоне необходимо иметь не менее одного изгиба, а в зоне III – не менее двух. Следовательно, минимальное количество изгибов при «идеальном» способе равно 7, а минимальное количество роликов – 9. Обычно на практике многие зоны не разделяются по роликам, а плавно переходят друг в друга.

На процесс правки и его стабильность влияет не только разброс исходной плоскостности листов до правки. Существуют два параметра, которые оказывают серьезное влияние на процесс правки: предел текучести и толщина листа, точнее разброс этих параметров по площади одного конкретного листа и внутри выправляемой партии. Ширина листов влияет практически линейно на усилия и момент правки, при этом кривизны изгиба и коэффициент проникновения пластической деформации  $K_{\text{п}}$  не изменяются при постоянной настройке роликов.

Согласно результатам экспериментальных измерений, предел текучести изменялся на исследованной партии от 405 до 465 МПа. Поэтому для расчета изменение предела текучести принято от 405 до 505 МПа ( $455 \pm 50$  МПа или  $\pm 10\%$ ). При технологических расчетах необходимо учитывать влияние на процесс всех трех рассмотренных свойств листов: исходной кривизны, предела текучести и толщины. Причем учет допусков по толщине и проведение расчета при наибольшей толщине обязателен, так как в последнем случае реализуются наибольшие энергосиловые параметры и остаточная кривизна может сильно измениться из-за увеличения  $K_{\text{п}}$ .

### Выводы

Изучение теории правки отстает от изучения других процессов ОМД, например, прокатки, что вызвано необходимостью учета множества явлений, протекающих в металле, подвергающемся знакопеременному нагружению с уменьшающейся амплитудой (взаимодействие упругой и пластической деформации, эффект Баушингера и др.). В данном процессе присутствуют условия как затрудняющие правку (упрочнение), так и облегчающие (эффект Баушингера). Все это может давать довольно большие отличия в результатах расчетов, выполненных по различным методикам.

Была также отмечена параболическая зависимость остаточной кривизны от предела текучести и более сложная зависимость от толщины. Причина заключается в том, что при увеличении предела текучести и при уменьшении толщины последний изгиб под роликом становится упругим, и поэтому



выправляющий изгиб (тот, который формирует остаточную кривизну листа) перемещается под предыдущие ролики. При увеличении предела текучести видно, что выправляющим становится предпоследний ролик, а под последним роликом остаточная кривизна уже не меняется. Полученные данные использовали при проектировании комплекса валковой правки и технологии правки листовых заготовок сложной конфигурации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Недорезов И. В.** Моделирование процессов правки проката на роликовых машинах. Екатеринбург: «АКВА-ПРЕСС», 2003. 256 с.
2. **Целиков А. И. и др.** Машины и агрегаты для производства и отделки проката. Т. 3. Машины и агрегаты металлургических заводов. М.: Металлургия, 1981. 576 с.
3. **Недорезов И. В., Орлов Б. Я., Винокурский А. Х.** Роликовые правильные машины АО «Уралмаш» и пути их совершенствования // Тр. первого Конгресса прокатчиков. Магнитогорск, 23–27 октября, 1995. М., 1996. С. 38–42.
4. **Слоним А. З., Сонин А. Л.** Правка листового и сортового металла (технология и оборудование). М.: Металлургия, 1981. 232 с.
5. **Пасечник Н. В., Синицкий В. М., Дрозд В. Г. и др.** Машины и агрегаты металлургического производства. Т. IV – 5 / Под общ. ред. В. М. Синицкого, Н. В. Пасечника. М.: Машиностроение, 2000. 912 с.
6. Пат. 2070454 Россия. 6B21D1/02. Листопрямительная машина / В. А. Быков (Россия). № 93020018/08; Заявлено 16.04.93; Опубл. 20.12.96. Бюл. № 35.
7. **Kaden V., Konig A.** Усовершенствованная машина для горячей и холодной правки толстых листов // MPT. 1997. № 2. С. 92–94, 96, 98–100.

#### REFERENCES

1. **Nedorezov I. V.** *Modelirovanie processov pravki prokata na rolikovyh mashinah* [Modeling of the processes of editing rolled products on roller machines]. Ekaterinburg, AKVA-PRESS Publ., 2003, 256 p.
2. **Celikov A. I.** *Mashiny i agregaty dlja proizvodstva i otdelki prokata* [Machines and units for the production and finishing of rolled products]. Vol. 3. *Mashiny i agregaty metallurgicheskikh zavodov* [Machines and units of metallurgical plants]. Moscow, Metallurgija Publ., 1981, 576 p.
3. **Nedorezov I. V., Orlov B. Ja., Vinokurskij A. H.** Rolikovyje pravil'nye mashiny AO «Uralmash» i puti ih sovershenstvovaniya [The right machines of Uralmash JSC and ways to improve them]. *Trudy pervogo Kongressa prokatchikov, Magnitogorsk, 23–27 oktjabrja, 1995 = Proceedings of the First Congress of Rollers, Magnitogorsk, October 23–27, 1995*. Moscow, 1996, pp. 38–42.
4. **Slonim A. Z., Sonin A. L.** *Pravka listovogo i sortovogo metalla (tehnologija i oborudovanie)* [Straightening of sheet and section metal (technology and equipment)]. Moscow, Metallurgija Publ., 1981, 232 p.
5. **Pasechnik N. V., Sinickij V. M., Drozd V. G.** *Mashiny i agregaty metallurgicheskogo proizvodstva* [Machines and aggregates of metallurgical production]. Vol. IV – 5. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2000. 912 p.
6. **Bykov V. A.** *Listopravil'naja mashina* [Sheet straightening machine]. Pat. 2070454 Russia.
7. **Kaden V., Konig A.** Usovershenstvovannaja mashina dlja gorjachej i holodnoj pravki tolstykh listov [Advanced machine for hot and cold straightening of thick sheets]. *MPT Int.*, 1997, no. 2, pp. 92–94, 96, 98–100.