

**ГОССТРОЙ СССР  
ГЛАВПРОМСТРОЙПРОЕКТ  
СОЮЗМЕТАЛЛОСТРОЙНИИПРОЕКТ**  
Ордена Трудового Красного Знамени  
Центральный научно-исследовательский и проектный институт  
строительных металлоконструкций  
**ЦНИИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ**

**РУКОВОДСТВО  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗАВОДОВ  
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ**

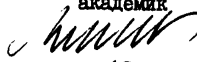
**ПРАВКА ЛИСТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ,  
РЕЖИМЫ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ**

**МОСКВА 1981**

Госстрой СССР  
Главпромстройпроект  
Совметаллостройинипроект  
Ордена Трудового Красного Знамени  
Центральный научно-исследовательский и проектный институт  
строительных металлоконструкций  
ЦНИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института,  
академик

 А.П.Мельников  
" 13 " января 1981 г.

РУКОВОДСТВО

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗАВОДОВ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ  
ПРАВКА ЛИСТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ,  
РЕЖИМЫ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ

Москва - 1981

УДК 621.982.45:624.014.2

Настоящее Руководство предназначено для работников проектных, научно-исследовательских институтов и заводов металлоконструкций.

Руководство содержит классификацию основных видов остаточных деформаций деталей конструкций, общие рекомендации по выбору метода правки и соответствующего для нее оборудования, а также несложные в производственных условиях методы определения ее режимов.

В основу настоящего Руководства положены результаты проведенных исследований в ЦНИИпроектстальконструкции, ЦНИИС Минтрансстроя, Челябинском и Курском политехнических институтах, а также учтены результаты современных отечественных и зарубежных исследований по методам правки.

Материалы Руководства послужат основой для разработки заводских инструкций, учитывающих наличие оборудования и программу завода.

Руководство составлено в отделе технологии изготовления и проектирования заводов металлических конструкций ЦНИИпроектстальконструкция.

В разработке Руководства участвовали: канд.техн.наук В.В.Волков (руководитель работы), Ю.Л.Попелянский (ответственный исполнитель); инж. У.П.Шибяев, В.И.Ломберт (ЦНИИпроектстальконструкция); канд.техн.наук К.П.Большаков, В.М.Душницкий, В.В.Пассек (ЦНИИС Минтрансстроя); проф. А.А.Абаринов, инж. В.Н.Ганченков (Челябинский политехнический институт); канд.техн.наук А.З.Белик, инж. В.М.Белик (Курский политехнический институт).

Замечания просим направлять по адресу: 117393, ул. арх. Власова, д.49, ЦНИИпроектстальконструкция, отдел технологии изготовления и проектирования заводов металлоконструкций.

## 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящее Руководство дополняет и развивает раздел I главы СНиП Ш-18-75 "Металлические конструкции. Правила производства и приемки работ" и распространяется на производство правки листовых элементов строительных конструкций из углеродистой и низколегированной стали классов прочности С38/23 - С85/75.

1.2. Листовой прокат, поступающий с металлургических заводов, требует правки. Кроме этого, 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);
- 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;
- перелом в стыке сварного полотнища или "домик".

1.3. При наличии в заготовке или элементе двух или более видов остаточных деформаций их необходимо устранять последовательно.

1.4. Правку осуществляют холодным, термическим или термомеханическим методами.

Холодная правка производится с помощью механического воздействия на деформированный элемент.

Термическая правка деформаций изгиба представляет собой высокотемпературный нагрев участков на выпуклой стороне прогиба элемента.

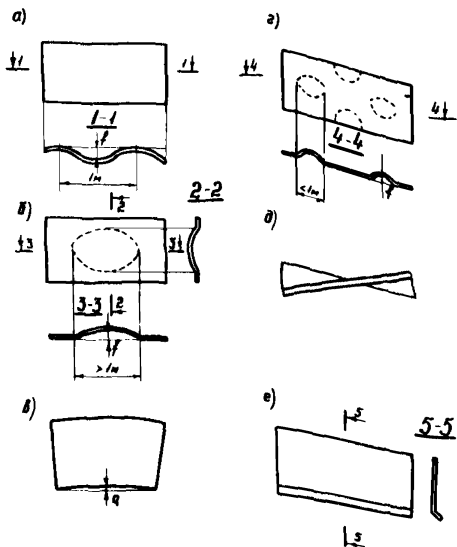


Рис.1. Остаточные деформации листовой, полосовой и широкополосной универсальной стали:

а) волнистость; б) коробчатость; в) саблевидность; г) бухтиноватость; д) пропеллерность; е) заломленная продольная кромка листа

Термомеханическая правка основана на сочетании первых двух методов - создании механического воздействия в момент местного нагрева элемента до высоких температур. Ее рекомендуется применять при значительных величинах деформаций.

Метод правки следует выбирать с учетом настоящего Руководства, исходя из наличия на заводе соответствующего оборудования.

1.5. При изготовлении конструкций необходимо осуществлять тщательный пооперационный контроль качества обработки полуфабрикатов и своевременно устранять в них недопустимые деформации, так как правка деформаций в готовом элементе всегда сложнее, чем в полуфабрикатах.

1.6. Правка осуществляется под наблюдением и техническим руководством мастера и поручается квалифицированным рабочим, которые ознакомлены с настоящим Руководством.

1.7. В процессе производства работ по правке следует тщательно соблюдать действующие правила техники безопасности и охраны труда.

## 2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

2.1. Правку деталей и элементов конструкций следует производить в том случае, если общие деформации превосходят допустимые СНиП Ш-18-75 (таблица 1).

Т а б л и ц а 1

Наименование отклонения	Допускаемые отклонения
1. Зазор между натянутой струной и обушком уголка, полкой или стенкой швеллера и двутавра	0,001 длины элемента, но не более 10 мм
2. Стрелка прогиба элементов (колонны, опоры, ригеля, балки, связи)	1/750 длины элемента, но не более 15 мм
3. Стрелка выгиба оси элементов главных ферм и балок проезжей части	0,001 длины элемента, но не более 10 мм

Правке подлежат листовой прокат и детали из него, имеющие:

- кривизну по плоскости более 1,5 мм на 1 м;

- саблевидность более 1/1000 длины или более 5 мм.

Деформированные участки, подлежащие правке, не должны иметь заломов, надрывов и трещин.

2.2. Технологические операции при правке рекомендуется осуществлять в следующем порядке:

- перед началом правки определить величину деформации, а также величину и направление кривизны: стрелку выгиба при большой длине элемента измеряют с помощью струны, винтообразность элементов - с помощью отвесов по разности отклонений вертикальной стенки элемента в опорных сечениях от вертикали, а для измерения остальных видов деформаций рекомендуется применять универсальную линейку (рис.2);

- установить порядок и последовательность ведения правки;

- с учетом рекомендаций, приведенных в Руководстве, провести правку;

- проверить результаты правки: если требуемый результат не был достигнут, то правку продолжить.

При термической и термомеханической правке необходимо:

- определить марку стали проката;

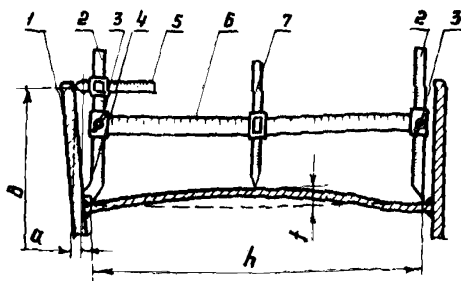


Рис.2. Схема измерения местных остаточных деформаций универсальной линейкой:

1 - деформированный элемент конструкции;  
 2 - опорная стойка;  
 3 - зажимной винт;  
 4 - опора на опорной стойке; 5 - горизонтальная передвижная линейка для измерения перегиба полки; 6 - база;  
 7 - вертикальная передвижная линейка для измерения стрелки выпуклости

- установить схему ведения правки и определить место и границу зоны нагрева;
- установить температуру нагрева и выбрать источник нагрева;
- проверить результаты правки: если требуемый результат не был получен, то правку следует продолжить; если элемент получил обратную деформацию, превышающую по величине допустимую, то его следует перевернуть и продолжить правку с другой стороны;
- участки выправленных элементов с деформациями, вызванными механическими воздействиями, должны быть подвергнуты контролю с помощью УЗД.

2.3. Поверхность стали после правки не должна иметь вмятин, трещин и других повреждений.

2.4. Не допускается подвергать холодной правке участки деформированных элементов, расположенные в местах резкого изменения сечения элемента, а также в местах приварки ребер и фасонков.

2.5. Запрещается правка элементов путем наплавки валиков дуговой сваркой, дугой, образованной графитовыми электродами, а также плазменными горелками.

2.6. Металл рекомендуется править азетилено-кислородными горелками типа ГС-3 и ГС-4 с номером наконечника не ниже 5 (см. приложение I). Допускается применение горелок (например, типа ГЗУ-2-62П), разработанных для пропан-бутана и других газов-заменителей ацетилена. Для повышения тепловой эффективно-

сти пламени газов-заменителей ацетилена рекомендуется несколько увеличивать в смеси газов количество кислорода и применять горелки с сетчатыми наконечниками (номер 6 и выше), имеющими подогревающее пламя.

Режимы правки, приведенные в настоящем Руководстве, даны для ацетилено-кислородных горелок. Для горелок, работающих на газах-заменителях ацетилена, режимы правки должны подбираться опытным путем.

2.7. Температуру местного нагрева металла при термической и термомеханической правке рекомендуется принимать равной  $700^{\circ}\text{C}$ ; для этой температуры рассчитаны все приведенные в настоящем Руководстве графики, номограммы и таблицы режимов правки. Допускается повышение температуры нагрева до  $900^{\circ}\text{C}$  (кроме п.2.8).

2.8. Термически упрочненные стали во избежание разупрочнения запрещается нагревать выше  $700^{\circ}\text{C}$ .

2.9. В исключительных случаях при термической и термомеханической правке допускается применять проколачивание нагретого металла кувалдой через гладилку; при этом температура металла не должна опускаться ниже  $700^{\circ}\text{C}$ .

2.10. Расстояние от конца наконечника горелки до поверхности металла следует принимать равным 1,0-1,2 длины ядра пламени.

2.11. Температура нагрева и контроль ее постоянства под ядром пламени горелки на нагреваемой площади элемента определяется с помощью оптических пирометров, термокарандашей и устройства для контроля температуры нагрева (приложение 2), а также визуально по цвету калия стали с применением температурной шкалы цветов, приведенной в табл.2.

2.12. Для проверки правильности определения температуры нагрева следует проводить контрольные испытания каждого газоправильщика не реже одного раза в квартал (см.приложение 2).

2.13. Запрещается охлаждать нагретый металл водой.

2.14. Допускается повторный нагрев одних и тех же участков после полного остывания металла, но не более трех раз (кроме термически улучшенного проката).

2.15. Контроль за выполнением технологических указаний по термической правке и правил техники безопасности возлагается на старших и сменных мастеров и технологов цеха.



Т а б л и ц а 2

Цвет нагрева стали	Температура нагрева, °С
Темно-коричневый	550-580
Темно-вишневый	580-650
Темно-красный	650-730
Темно-вишнево-красный	730-770
Светло-красный	770-800
Светло-вишнево-красный	800-830
Густо-оранжевый	830-900

### 3. ХОЛОДНАЯ ПРАВКА. ПРАВКА ИЗГИБОМ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА НА ЛИСТОПРАВИЛЬНЫХ ВАЛЦАХ

3.1. Листовой прокат следует править на листопрямильных вальцах с параллельными рядами валков количеством не менее 5 (приложение 3).

3.2. При большой ширине исправляемых листов прочность правильных валков и его подшипниковых узлов зачастую является недостаточной. В этих условиях листопрямильные машины снабжаются опорными роликами. Относительно правильных валков опорные ролики располагаются попарно (рис.3а), в шахматном порядке (рис.3б) или смешанно. По длине правильных валков опорные ролики устанавливаются в несколько рядов (рис.3в).

Шахматное расположение опорных роликов относительно правильных валков является наиболее распространенным, так как

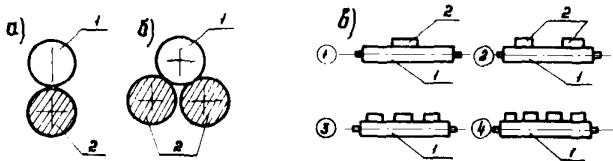


Рис.3. Схемы расположения опорных роликов в листопрямильных машинах:

а) схема расположения опорных роликов попарно с правильными валками; б) схема расположения опорных роликов и правильных валков в шахматном порядке; в) схема расположения опорных роликов по длине валка (1 - правильные валки, 2 - опорные ролики, ② - количество роликовых опор)

именно оно позволяет получить высокую прочностную характеристику листопрямильных машин, применяемых для холодной правки очищенных от окалины листов.

Листы, имеющие окалину, правят на машинах со связанными взаимным расположением правильных валков и опорных роликов. В этом случае для свободного удаления окалины опорные ролики нижнего ряда устанавливаются попарно, а в верхнем ряду для повышения прочности верхней траверсы правильные валки и опорные ролики размещаются в шахматном порядке.

3.3. Опорные ролики каждого ряда монтируются в одну секцию, положение которых по высоте регулируется специальными механизмами, в зависимости от вида и величины исходного дефекта листа. В связи с этим давление от опорных роликов на правильные валки прерывается в местах установки подшипников для опорных роликов. Давление со стороны правильных валков на лист по ширине неодинаково, что приводит к появлению на поверхности выправленного материала продольных полос (матрачности). Вероятность получения "матрачности" исключается при большом количестве роликовых опор.

3.4. Радиус изгиба в машине с параллельными рядами валков (рис.4) следует определять по формуле (1). При этом надо знать

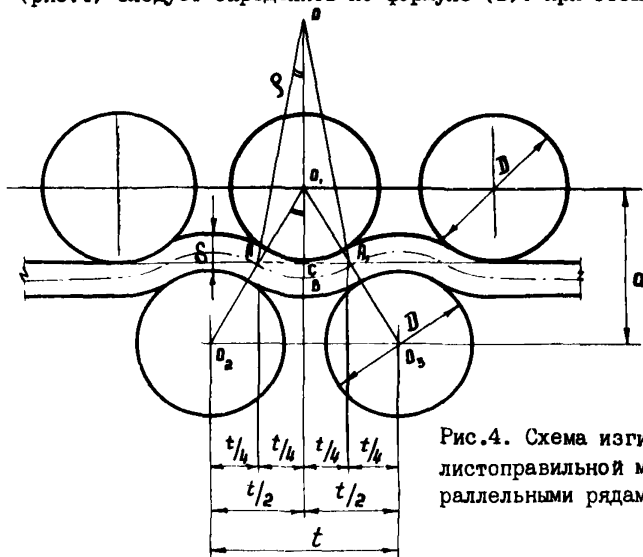


Рис.4. Схема изгиба листа в листопрямильной машине с параллельными рядами валков

толщину листа ( $\delta$ ), геометрию машины и величину опускания верхних валков ( $h$ ) выше или ниже их нейтрального положения (нейтральным положением валков считается такое положение, при котором все валки соприкасаются с прямой линией прохода).

$$\rho = \frac{AA_1^2 + 4CB^2}{8CB} = \frac{t^2 + 4(D + \delta - a)^2}{16(D + \delta - a)} = \frac{t^2 + 4h^2}{16h} = \frac{D}{2} + \frac{\delta}{2}, \quad (1)$$

где  $D + \delta - a = h$  (2)

$t$  - шаг правильных валков, мм.

Чтобы выправить качественно лист с радиусом исходной кривизны  $R_{исх}$ , необходимо согнуть его в машине на радиус изгиба меньший исходного, с учетом пружинения заготовки. Необходимый радиус изгиба при правке рекомендуется определять по таблицам приложения 4 в зависимости от предела текучести, радиуса исходной кривизны листа и его толщины. Для промежуточных значений указанных величин, радиус изгиба находится по интерполяции, используемый при технологических расчетах правки и настройки машины.

3.5. Величину настройки " $h$ " средних рабочих валков следует определять из уравнения

$$h \approx 2\rho - \sqrt{4\rho^2 - \frac{t^2}{4}}. \quad (3)$$

Для контроля расстояния между центрами валков листоправильные машины должны быть оборудованы указателями их сближения. Крайние направляющие валки настраиваются опытным путем в зависимости от настройки средних правильных валков: если лист загибается, то крайние валки следует опустить и наоборот.

3.6. Процесс определения технологических возможностей листоправильных машин включает в себя:

- определение наибольших размеров поперечного сечения выправляемого листа для данного типа машины из условий прочности элементов машины и предельных контактных напряжений между валками и заготовкой;

- определение минимальной толщины листа из условия геометрии машины.

3.7. Для листоправильных машин, не имеющих опорных роликов по длине валков (типа "Бенни"), основной величиной, огра-

Таблица 3

Значение коэффициента  $m$  и  $m_0$ 

E, МПа	Коэффициент K										
	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
2500	2,68	2,08	1,79	1,69	1,63	1,60	1,53	1,43	1,32	1,18	1,0
4500	3,62	2,53	2,63	1,62	1,73	1,66	1,56	1,44	1,33	1,18	1,0

нивающей размеры заготовки, выправляемой в машине, является величина предельных напряжений в валках.

Максимальная ширина ( $B_{max}$ ) заготовки с известной толщиной и пределом текучести материала  $G_T$ , отличными от указанных в паспорте машины, следует определять из условия прочности наиболее нагруженного валка по формуле

$$B_{max} = h - \sqrt{h^2 - \frac{m_0 G_T^0 \delta_0^2}{m G_T \delta^2} (2L - \delta_0) \delta_0}, \quad (4)$$

где  $m$  - коэффициент (таблица 3), устанавливаемый в зависимости от  $K = \frac{G_T \rho}{E \delta}$  и модуля упругости  $E_1 = 2500$  МПа, а  $m_0$  - от  $K = \frac{G_T \rho_0}{E \delta_0}$  и  $E_1 = 4500$  МПа (таблица 4)

$$\rho = \frac{t^2 + 4 h_0^2}{16 h_0} \quad (5)$$

( $h_0$  - величина опускания валков при правке листа с толщиной  $\delta_0$ ),  
 $L$  - расчетный пролет правильных валков.

3.8. Для листопрямляющих машин с опорными роликами по длине правильных валков (рис.5) основными условиями, ограничивающими размеры заготовки, являются величина предельных изгибающих моментов в валках и прочность основных органов машины с учетом промежуточных опор.

Максимальные размеры заготовки следует назначить из условия равенства изгибающих моментов в заготовке и листе по паспорту машины при условии равнопрочности основных элементов машины. С увеличением толщины и уменьшением ширины заготовки возрастает давление на промежуточные опоры роликов, которые рассчитаны на опорные реакции, возникающие при правке листа с размерами по паспорту машины.

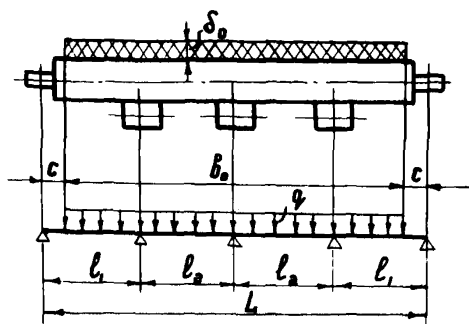


Рис.5. Расчетная схема правильных валков в зависимости от количества роликовых опор

3.9. Максимальная ширина (толщина) заготовки при известных толщине (ширине), модуле упругости и пределе текучести, отличными от паспортных данных машины, определяют по формулам:

Т а б л и ц а 4

Средние значения модулей упругости  $E_1$ , МПа

Класс прочности стали	Марка стали	Состояние поставки стали			
		горячекатаная	нормализованная	закалка и отпуск	закалка и высокий отпуск
С38/23	ВСтЗ	2500	2500	-	-
С44/29	09Г2С	4500	4500	2500	-
С46/33	10Г2С1	4500	4500	2500	-
С52/40	10ХСНД	4500	4500	2500	-
С60/45	16Г2АФ	4500	4500	2500	-
С70/60	12Г2СМФ	-	-	-	2500
С70/60	12ГН2МФАЮ	-	-	-	2500
С85/75	12ХГН2МФАЮ	-	-	-	2500

$$\delta_{\max} = \frac{m_0 G_T^0 b_0 \delta_0^2}{m G_T \delta} N^2 \quad (6)$$

$$\delta_{\max} = \delta_0 \sqrt{\frac{m_0 G_T^0 b_0}{m G_T \delta}}, \quad (7)$$

где  $m_0$  - коэффициент, обеспечивающий равнопрочность основных элементов машины, зависящий от количества роликовых опор и степени сужения заготовки, приведен в таблице 5.

Таблица 5

Значения коэффициента  $N$ 

Количество ролик- опор	Значение $N$ при										
	I	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05
1	I	0,95	0,88	0,83	0,73	0,75	0,72	0,68	0,65	0,62	0,61
2	I	0,95	0,91	0,87	0,83	0,70	0,57	0,49	0,43	0,38	0,36
3	I	0,95	0,86	0,76	0,66	0,56	0,50	0,38	0,34	0,32	0,31
4	I	0,94	0,84	0,74	0,64	0,55	0,51	0,43	0,30	0,19	0,15

Примечание. Значение  $N$  для промежуточных отношений  $b/b_0$  могут быть определены линейной интерполяцией.

Определение  $b_{\max}$  по формуле осуществляется методом последовательных приближений. В итоге необходимо, чтобы значение  $b_{\max}$  совпало со значением  $b$ , взятым из табл.5.

При определении  $\delta_{\max}$  (для установления коэффициента  $N$ ) необходимо задаться значением  $\delta_{\max}$  (первоначально в пределах  $\delta_0$ ), и в случае несовпадения результатов повторить расчет с вновь принятым значением  $\delta_{\max}$ .

3.10. При неизвестных значениях предела текучести материала, подготавливаемого к обработке заготовки (известна только марка стали) вместо  $\sigma_T$  необходимо подставить  $\sigma_{T_{\max}}$  (таблица 6).

3.11. Минимальная толщина листа, который может быть выправлен на заданной листопрямильной машине из условия развития необходимых пластических деформаций, следует определять по формуле

$$\delta_{\min} = \frac{2t^2}{D} \left[ 0,01 + \frac{\sigma_T + E_1 \left( 0,01 - \frac{\sigma_T}{E} \right)}{E - E_1} \right] \quad (8)$$

или по таблице 7.

3.12. Рекомендуется производить перерасчет технологических возможностей листопрямильных машин на ЭВМ. В этом случае уменьшается трудоемкость вычислений и перерасчет будет более

Т а б л и ц а 6

## Технологические свойства марок стали

Класс прочности стали	Марка стали	Предел текучести, МПа				Временное сопротивление, МПа				Относительное удлинение, %		
		по ГОСТ или ТУ	$\sigma_T^{CP}$	$\sigma_T^r$	$\sigma_T^{max}$	по ГОСТ или ТУ	$\sigma_B^{CP}$	$\sigma_B^B$	$\sigma_B^{max}$	по ГОСТ или ТУ	$\delta_5^{CP}$	$\delta_5^B$
C38/23	BCтЗ	230	282	23,4	350	380	466	21,6	520	24	30,3	3,0
C44/29	09Г2С	290	385	38,6	502	440	548	33,0	648	21	27,6	3,14
C46/33	10Г2С1	330	385	20,7	445	460	548	33,0	640	21	28,5	3,42
C52/40	10ХСНД	400	459	37,6	580	520	598	34,6	710	-	-	-
	14Г2АФ	330	478	66,8	678	550	620	54,6	784	20	24,1	3,90
C60/45	16Г2АФ	450	508	41,8	634	600	654	39,4	772	16	23,7	3,24
	12Г2СМФ	600	751	75,1	964	700	838	65,3	1034	12	15,5	2,34
C70/60	12ГН2МФАД	600	677	72,6	895	700	782	75,0	1007	14	17,1	2,65
C85/75	12ХГН2МФБАД	750	866	73,5	1086	850	978	61,9	1164	12	14,3	2,10

Таблица 7

Значения минимальной толщины выправляемого листа в мм из условия геометрии машины

G, МПа	Модель машины													
	"Веп- ли" 26x x3100	HR4 36 25x x2438	"Фудэй Шаре" 40x x3200	MBRK 25x x3200	MBRK 32x x3200	MBRK 40x x3200	MBRK 50x x4500	XZM 40x x3000	CKM3 32x x2500	HKM3 25x x2500	HKM3 30x x3450	HKM3 35x x2650	HKM3 50x x3500	HKM3 50x x4500
200	II	6	10	6	6	8	13	8	10	8	11	8	20	33
300	II	6	11	6	7	8	14	8	10	9	12	9	21	34
400	I2	7	12	7	8	9	15	9	11	10	13	10	22	36
500	I2	7	13	8	8	9	15	10	12	10	14	10	24	38
600	I3	8	13	8	8	10	16	10	12	11	14	10	25	40
700	I3	8	13	8	8	10	16	10	13	11	15	11	26	40
800	I4	8	14	9	9	10	17	11	13	11	15	11	26	42
900	I4	8	14	9	9	11	18	11	13	12	16	11	26	45
I000	I5	9	15	9	9	11	18	12	14	12	16	12	28	45
II00	I5	9	15	9	10	12	19	12	14	13	17	12	28	48
I200	I6	9	16	10	10	12	20	12	15	13	17	12	30	48



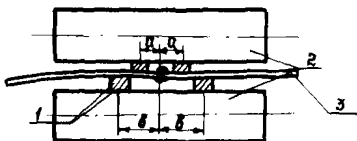


Рис.6. Листоправильные валки с прокладками вдоль шва:

1 - прокладки; 2 - валки;  
3 - деформированный лист

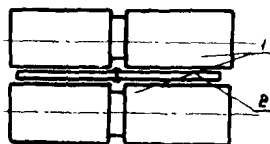


Рис.7. Листоправильные валки с проточенной канавкой:

1 - валки; 2 - деформированный лист

полным. В приложении 5 технологические возможности листоправильных машин, рассчитанные с помощью ЭВМ.

3.13. Примеры расчета технологических возможностей листоправильных машин с отсутствием и наличием опорных устройств по длине валков приведены в приложении 6.

3.14. При правке саблевидности на листоправильных машинах на вогнутой стороне листа укладывают прокладки толщиной 1,5–2,0 мм, шириной 100–150 мм и длиной 600–700 мм. При правке хлопунцов такие прокладки укладывают по обеим кромкам на поверхности листа. При этом суммарная толщина листа должна быть не более рассчитанной по возможностям данной машины.

3.15. На листоправильных машинах допускается править заломы, расположенные только на продольных кромках листа.

3.16. Допускается правка тонколистовой стали пакетом. Сумма толщины листов в пакете не должна превышать максимальной толщины одного листа, который можно выправить на данной машине. Режим правки пакетом следует определять опытным путем.

3.17. Полотнища с продольными стыковыми швами рекомендуются править на машинах, используя один из следующих способов:

- с применением прокладок, уложенных вдоль сварного шва с обеих сторон листа (рис.6);
- после снятия усиления шва с обеих сторон полотнища;
- с применением специальных валков с проточенными канавками для пропуска усиления шва (рис.7).

Полотнища толщиной 20 мм и более необходимо править за несколько проходов.

3.18. Полотнища с поперечными стыковыми швами допускаются править на машинах при условии, если толщина полотнища не превышает 20 мм, а величина усиления шва с каждой стороны не превышает 3 мм. В этом случае не допускается применение жестких режимов правки во избежание появления трещин в шве и околошовной зоне.

#### 4. ТЕРМИЧЕСКАЯ ПРАВКА. ПРАВКА ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

4.1. Волнистость, выгиб или местную погнутость листовой стали следует править нагревом одной или нескольких полос, расположенных по гребню волны (рис.8).

Ширину полосы нагрева  $b$  следует определять по графикам, приведенным на рис.9 и 10, на которых даны зависимости для горелок с эффективной мощностью 1300, 1750 и 2200 кал/сек, что соответствует ацетилено-кислородным горелкам с наконечниками номер 5, 6, 7 (см.приложение 7). В случае применения горелок, работающих на других газах, можно использовать графики, приведенные на рис.9 и 10, определив согласно указаниям приложения их эффективную мощность.

4.2. Стрелку прогиба после правки волнистости допускается предварительно определять сразу же после нагрева полосы.

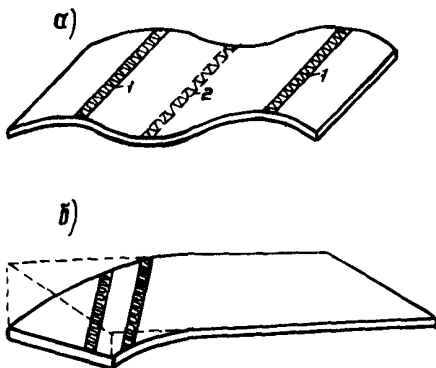


Рис.8. Термическая правка волнистости (а) и выгиба листа (б)

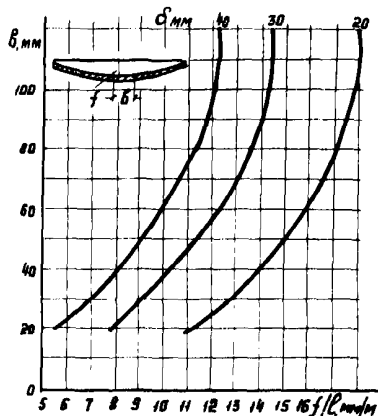


Рис.9. Зависимость величины угловых деформаций  $f/l$  от ширины полосы нагрева ацетилено-кислородной горелкой № 6 листов толщиной 20, 30, 40 мм

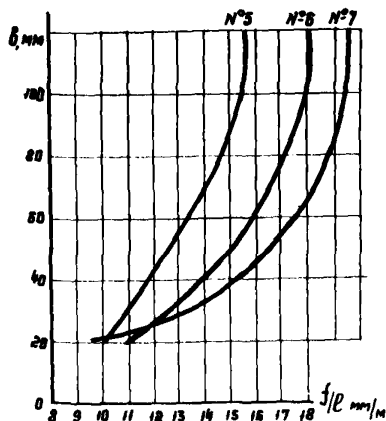


Рис.10. График для определения режима правки листа толщиной 20 мм в зависимости от номера горелки

4.3. Правку саблевидности листовой стали следует производить нагревом полосы, клиньев или зон в виде полуокружности (рис.11) со стороны выпуклой кромки.

4.4. Не рекомендуется править детали нагревом полосы при отношении ее ширины  $h_1$  к общей высоте сечения листа  $h$  более 0,2 (см.рис.11а).

4.5. Величину изменения стрелки прогиба при правке саблевидности нагревом полосы следует определять по графику (рис.12) в следующей последовательности:

- измеряется стрелка выгиба листа  $f_0$  ;
- определяется отношение стрелки выгиба  $f_0$  (мм) к общей длине  $l$  (в м) деформированного листа;
- по графику определяется отношение  $h_1 / h$  , из которого устанавливается необходимая ширина полосы нагрева.

**Примечание.** Минимальный размер полосы нагрева принимается равным трем толщинам листа.

4.6. Не рекомендуется повторный нагрев полосы по первоначальному режиму. В случае, если после первого нагрева остаточные деформации не устранены, требуется нагреть полосу большей ширины или до более высоких температур.

4.7. Высоту клина следует назначать равной  $2/3 h$  ( $h$  - высота сечения листа).

4.8. Клин рекомендуется нагревать последовательно, перемещая пламя источника нагрева зигзагообразно от вершины к основанию (рис.11б).

4.9. Режимы правки саблевидности листов нагревом зон в виде клина следует определять по графикам рис.13, 14 в следующей последовательности:

- измеряется стрелка выгиба элемента;
- по номограмме, приведенной на рис.14, определяется необходимое для правки количество нагреваемых зон в зависимости от стрелки выгиба  $f_0$  и длины элемента  $l$  ;

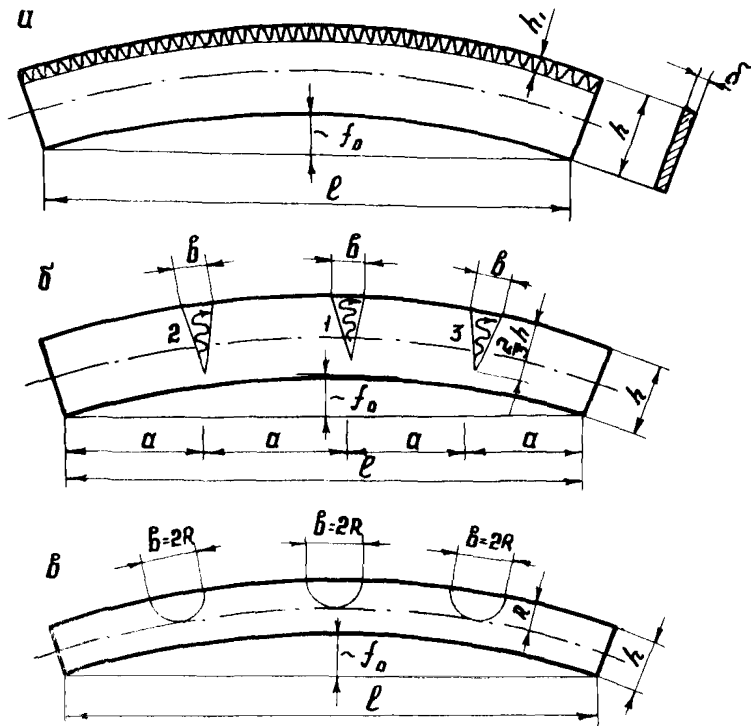


Рис.11. Правка нагревом саблевидности листового проката:

а - полосовой; б - клиньями; в - полу-  
окружностями

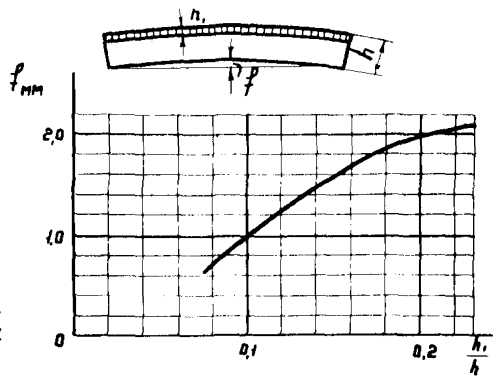


Рис.12. График для определения размеров зоны нагрева в виде полосы

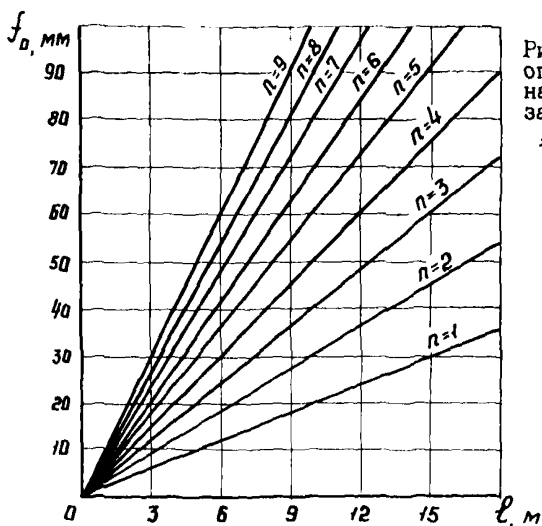


Рис.13. Номограмма для определения количества нагреваемых зон  $n$  в зависимости от выгиба  $f_0$  и длины элемента  $l$

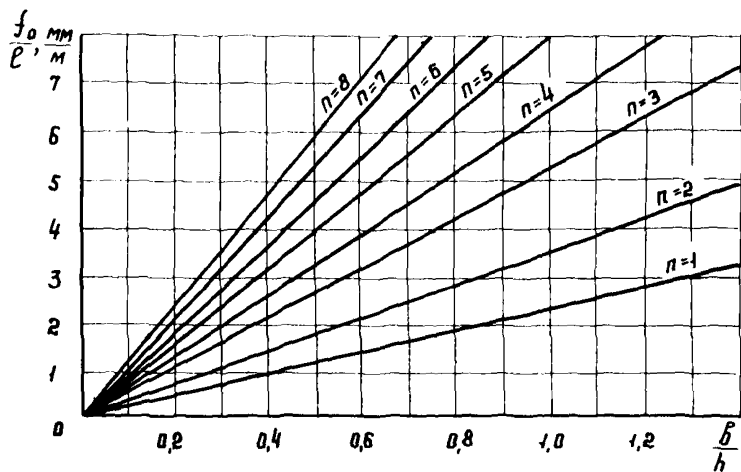


Рис.14. Номограмма для определения размеров зон нагрева (в) при правке саблевидности листа и изгиба элементов в плоскости полок

- ширина основания клина  $b$  определяется по номограмме, приведенной на рис.14, в зависимости от отношения  $f_0/l$  и количества нагреваемых зон  $n$  ;

- по длине деформируемого элемента зон нагрева расположить равномерно с шагом  $a$  (см. рис.11)

$$a = \frac{l}{n+1}.$$

4.10. Предельно допустимая ширина основания клина  $b$  должна приниматься в зависимости от толщины листа по табл.8.

4.11. Если ширина основания клина  $b$ , определяемая по номограмме, превышает предельно допустимую, то следует располагать рядом 2 или более клина, суммарная ширина основания которых равна ранее выясленному значению  $b$ .

4.12. Для оценки точности выбранных режимов правки следует ее производить, начиная нагрев в зоны, ближайшей к середине элемента.

П р и м е ч а н и е. Порядок последовательного нагрева зон (при  $n=3$ ) указан на рис.11б цифрами.

4.13. Рекомендуется после нагрева первой зоны и охлаждения ее замерить остаточный прогиб  $f$  и сравнить его с теоретическим  $f_1$ , который определяется по номограмме на рис.15 в зависимости от стрелки выгиба элемента  $f_0$  и количества нагреваемых зон  $n$ .

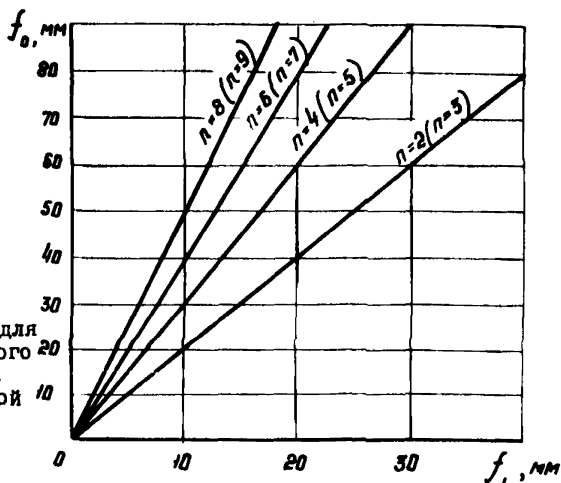


Рис.15. Номограмма для определения расчетного остаточного прогиба  $f_1$  от нагрева первой зоны

Материал	Наибольшая ширина основания клина при толщине листа в мм					
	6	10	14	18	20	30
Сталь углеродистая	50	80	120	145	160	240
Сталь низколегированная	40	60	85	110	120	180

**П р и м е ч а н и е.** Предельная ширина основания клина принята из условия устойчивости свободной кромки листа под действием сжимающих напряжений, возникающих в процессе нагрева.

Если расхождение между  $f$  и  $f_1$  составляет не более 5%, то следует продолжить правку согласно выбранному режиму.

Если расхождение между  $f$  и  $f_1$  более 5%, то следует осуществить корректировку режима правки, т.е. увеличить или уменьшить ширину основания клиньев. По номограмме рис.16 в зависимости от отношения  $f_1/f$  и выбранного равнее отношения  $b/n$  определить уточненное значение ширины основания клина  $b_1$ .

4.14. При правке саблевидности листов с высотой сечения 250 мм следует выбранную по номограмме (см.рис.14) ширину основания клина  $b$  умножить на коэффициент 0,8.

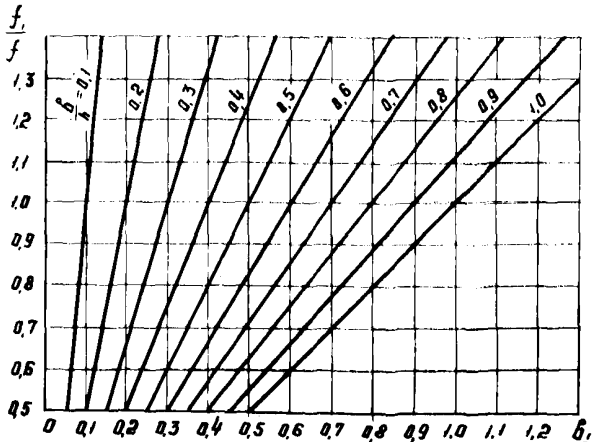


Рис.16. Номограмма для корректировки режимов правки элементов конструкций

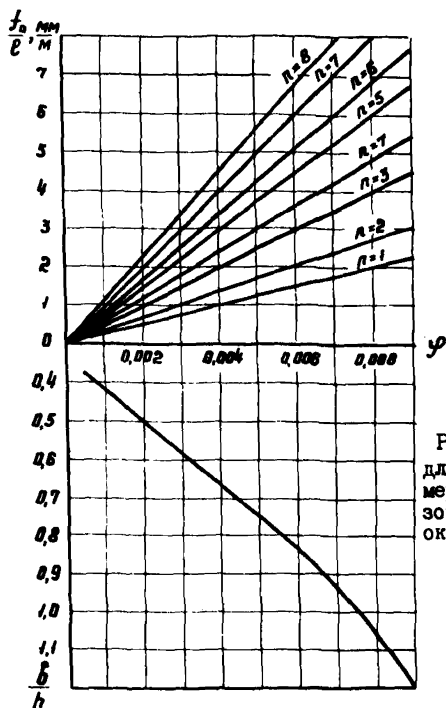


Рис.17. Номограмма для определения размеров нагреваемой зоны в виде полуокружности

4.15. При правке саблевидности узких листов ( $h$  не более 150 мм) зоны нагрева целесообразно располагать в виде полуокружности (см.рис.11в) с радиусом  $R$

4.16. Режимы правки нагревом зон в виде полуокружности рекомендуется определять по номограмме, приведенной на рис.17 в следующей последовательности:

- определяется необходимое количество зон нагрева по номограмме на рис.14;

- в зависимости от отношения  $f_0/l$  и количества зон нагрева  $n$  по номограмме определяется угол поворота сечения  $\varphi$ , по которому устанавливаются размеры (диаметр полуокружности  $\varphi$ ) зон нагрева.

П р и м е ч а н и е. В случае необходимости корректировку режимов правки производить в соответствии с указаниями п.4.13.



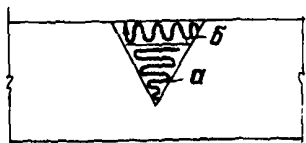


Рис.18. Ступенчатый нагрев клина:

а и б - последовательно нагреваемые части

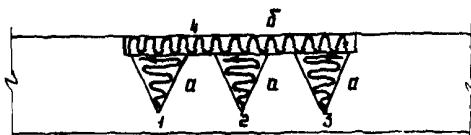


Рис.19. Нагрев гребенкой:

а и б - последовательно нагреваемые части

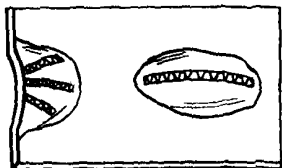


Рис.20. Правка выпучин листовой стали нагревом полос

4.17. При узких листах или наличии значительных остаточных деформаций рекомендуется применять ступенчатый способ нагрева клина в следующей последовательности:

- нагреть часть "а" (рис.18) от вершины к основанию;
- убрать горелку и подождать остывания нагретой части до исчезновения свечения металла;
- нагреть часть "б".

При нагреве нескольких клиньев, расположенных рядом, часть "б" принимается для них общей (рис.19) - нагрев гребенкой.

На рис.19 цифрами указан порядок нагрева элементов гребенки, а стрелками - направление движения горелки.

4.18. При толщине листа более 20 мм во избежание образования деформаций в плоскости, перпендикулярной плоскости листа, нагрев рекомендуется вести одновременно двумя горелками с обеих сторон клина или полосы; в случае, когда производится нагрев узкой полосы по кромке листа, можно пользоваться одной горелкой.

4.19. Термическую правку выпучин листовой стали (рис.20) при толщине металла до 14 мм, следует осуществлять согласно указаниям (пп.раздела 7), а при толщине свыше 14 мм - п.4.1.

4.20. Стрелку прогиба после термической правки выпучин следует измерять после полного остывания металла.

4.21. Соединения с "домиком", имеющие стрелку перелома в стыке, превышающую 0,1 толщины полотнища (но не более 2 мм) на базе измерения 400 мм, допускается править нагревом швов. В конструкциях, изготовленных из термически упрочненных сталей при правке "домиков" часть шва, расположенную на выпуклой стороне стыка, следует удалить воздушно-дуговой строжкой, зачистить и заварить вновь.

**П р и м е ч а н и е.** Ввиду большой трудоемкости правки "домиков" рекомендуется уделять особое внимание созданию перед сваркой предварительного угла перелома.

## 5. ПРАВКА ГРИБОВИДНОСТИ И ПЕРЕКОСА ПОЛОК

5.1. Термическую правку грибовидности следует осуществлять с помощью автомата АТПГ-2М (приложение 7) или ручным способом путем нагрева полосы или двух смежных полос, расположенных на гребне (рис.21).

5.2. Термическую правку перекосов производят либо нагревом полос на полке (рис.22), либо на стенке балок (рис.23).



Рис.21. Правка грибовидности нагревом полосы:

I - зона расположения полосы

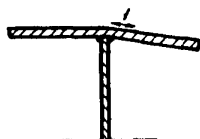


Рис.22. Правка перекоса и грибовидности нагревом полосы на полке:

I - зона расположения полосы



Рис.23. Правка перекоса полок нагревом полос на стенке:

I - зона расположения полосы

5.3. Характеристики нагреваемых полос определяют по графикам, приведенным на рис.10 и 11, и указаниям п.4.1 настоящего Руководства.

5.4. Результаты правки грибовидности и перекоса поясов допускается проверять сразу же после нагрева полосы.

## 6. ПРАВКА ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА

6.1. Основные виды деформаций изгиба продольной оси элементов можно разделить на изгиб элемента в плоскости стенки (рис.24) и полки (рис.25).

6.2. Для правки деформаций продольного изгиба следует применять зоны нагрева в виде клина, полуокружности и комбинации клина и прямоугольника.

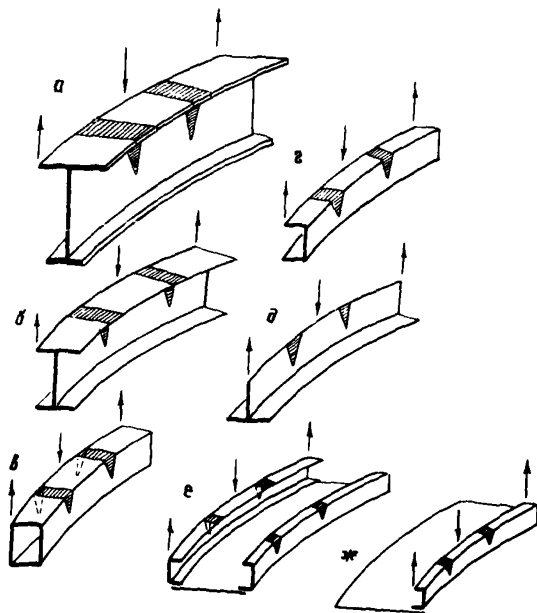


Рис.24. Линейные деформации элементов в плоскости стенки:  
 а - несимметричный двутавр; б - симметричный двутавр; в - ко-  
 робчатое сечение; г - сечение типа швеллер; д - тавровое се-  
 чение; е и ж - площадки

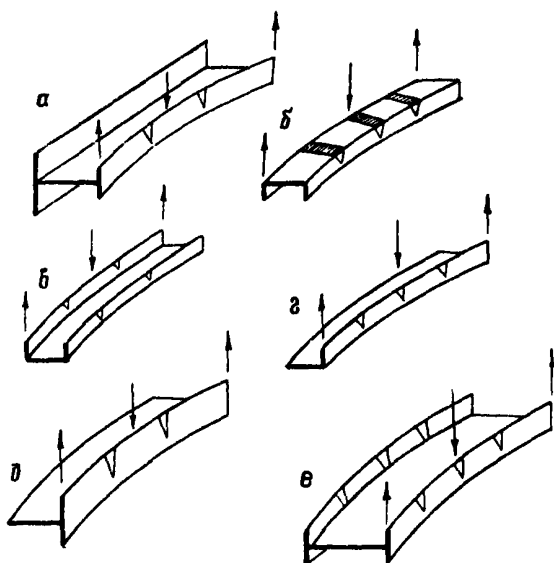


Рис.25. Линейный изгиб элементов в плоскости полок:  
 а - изгиб в плоскости одной полки; б - в - сечение типа швеллер;  
 г - уголок; д - двутавр (изгиб в плоскости обеих полок)

6.3. При правке элементов, для которых необходим совместный нагрев клиньев и прямоугольников (см.рис.25) рекомендуется следующий порядок правки: вначале нагревают клинья, высота которых равна высоте элемента, затем прямоугольник, основание и высота которого соответственно равны основанию клина и ширине элемента. На рис.24-25 стрелками показано направление деформаций после правки.

6.4. Клинья следует нагревать от вершины к основанию, а прямоугольник - перемещая горелку зигзагообразно вдоль элемента. При нагреве прямоугольника на широких полках следует использовать одновременно две горелки: порядок перемещения их показан на рис.26.

6.5. При наличии деформаций изгиба в двух взаимно перпендикулярных плоскостях режимы правки определять отдельно для каждой плоскости с учетом соответствующей величины деформаций. Правку следует вести, устранив деформации сначала в одной плоскости, а затем в другой, согласно выбранным режимам.

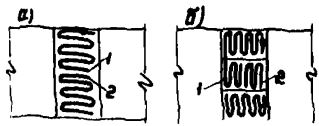


Рис.26. Последовательность движения горелок при нагреве прямоугольников на широких полках:  
1 и 2 - направление движения каждой горелки

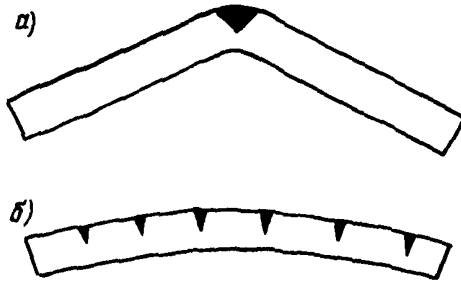


Рис.27. Термическая правка выгиба различной кривизны

6.6. Перелом элемента следует править нагревом широкого клина в месте перелома (рис.27а): если кривизна равномерно расположена вдоль длины элемента, то править следует нагревом нескольких узких клиньев, равномерно распределенных по длине (рис.27б) или нагревом полосы (рис.28), определяя режим в соответствии с графиком на рис.29.

6.7. При правке линейных элементов, изогнутых в плоскости (рис.24, кроме рис.24б) и элементов таврового сечения (рис.25д) зону нагрева следует принимать в виде клина при ширине полок (стенки) более 150 мм или в виде полуокружности при ширине полок (стенки) менее 150 мм.

6.8. При правке элементов симметричного сечения высоту клина следует принимать равной  $\frac{2}{3} h$  ( $h$  - высота сечения элемента). При правке элементов несимметричного сечения высоту клина определять из условия, что отношение  $\frac{F_H}{F} = 0,6$ , где  $F_H$  - площадь зоны нагрева по поперечному сечению элемента;

$F$  - площадь всего сечения элемента.

6.9. Необходимое количество зон нагрева следует определять в зависимости от стрелки выгиба и длины элемента по номограмме, приведенной на рис.14.

6.10. При изгибе линейных элементов в плоскости стенки (рис.24) рекомендуется размеры нагреваемых зон в виде клиньев

определять по номограмме, приведенной на рис.30 в зависимости от отношения  $f_0/l$  и количества зон нагрева  $n$ .

6.11. Предельная допустимая ширина основания клина  $b$  принимается в зависимости от толщины листа по таблице 8.

6.12. При изгибе линейных элементов в плоскости полок (рис.25) рекомендуется количество и размеры клиньев определять согласно указаниям пп.4.7 - 4.13.

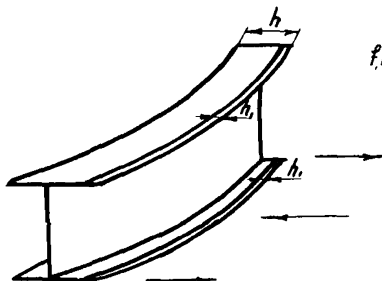


Рис.28. Правка выгиба нагревом полосы

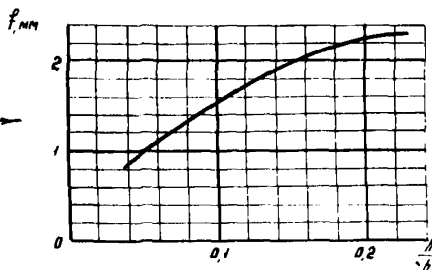
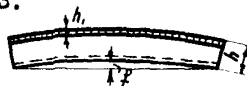


Рис.29. График зависимости остаточного прогиба  $f$  от отношения  $h_1/h$ ,  $h_1$  и  $h$  соответственно ширине полосы нагрева и ширина листа

6.13. При правке элементов с узкими полками (ширина полок не более 150 мм) при изгибе в плоскости полок зоны нагрева целесообразно принять в виде полуокружности, размеры которой определяются в соответствии с указаниями пп.4.15 - 4.16.

6.14. При нагреве элементов с шириной полок не более 250 мм при изгибе в плоскости полок следует выбранную по номограмме рис.14 ширину основания клина умножить на коэффициент 0,8.

6.15. Рекомендуется при определении режимов правки конструкций и элементов из стали класса С60/45 использовать графики и номограммы, приведенные выше. При этом выбранную ширину основания зоны нагрева  $b$  следует умножить на коэффициент 1,2.

6.16. Стрелку выгиба разрешается измерять после выравнивания температуры по сечению элемента.

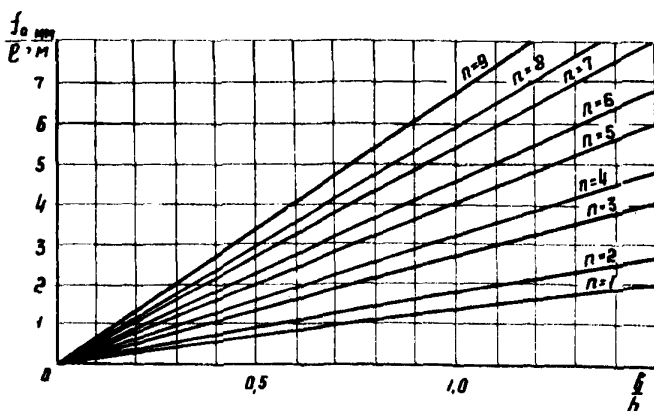


Рис.30. Номограмма для определения размеров нагреваемых зон в виде клина при правке деформаций изгиба в плоскости стенки элемента

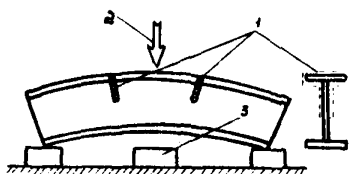


Рис.31. Термомеханическая правка выгиба оси элемента:

1 - полосы нагрева; 2 - груз, устанавливаемый до начала нагрева; 3 - страхующая подкладка

6.17. При термомеханической правке выгиба нагревают поперечную полосу с выпуклой стороны на половине высоты элемента (рис.31). Следует нагревать одновременно всю полосу одной или двумя горелками - в зависимости от длины полосы. Для того, чтобы под воздействием груза не образовалась остаточная деформация в другую сторону, необходимо устанавливать страхующую подкладку 3 (см.рис.31).

## 7. ПРАВКА ХЛОПУНОВ

7.1. Хлопуны следует править термическим или термомеханическим методом только после завершения правки всех других видов остаточных деформаций элемента.

7.2. Хлопуны в стенках, металл которых имеет предел текучести до 40 кгс/мм<sup>2</sup> включительно, рекомендуется править термическим методом, а свыше 40 кгс/мм<sup>2</sup> - термомеханическим. Допу-

скается определять стрелку хлопуна с вогнутой стороны стенки путем измерения зазора между стенкой и натянутой струной.

7.3. Центр хлопуна и его границы намечаются мелом на той стороне стенки, с которой будет осуществляться нагрев.

Если на стенке имеется два или более хлопунов, то центры и границы размечают для каждого из них.

7.4. Рекомендуется для нагрева стенки применять ацетилено-кислородные горелки с наконечниками номер 6 и более (см. приложение I).

При наличии ацетилено-кислородных горелок с меньшими номерами наконечников, или горелок, работающих на газах-заменителях ацетилена, рекомендуется нагревать стенку одновременно двумя или несколькими горелками с факелами, сведенными в одну точку.

7.5. При термической правке стенку следует нагревать с выпуклой стороны.

7.6. Хлопун следкет править нагревом полос, направленных радиально от его центра. Нагрев каждой полосы начинают с центра хлопуна, каждую следующую полосу следует нагревать после полного остывания металла.

7.7. Режимы термической правки, т.е. ширину  $\bar{v}$ , длину  $l$  и количество  $N$  полос нагрева, рекомендуется определять в зависимости от измеренной стрелки хлопуна  $f$ , длина отсека  $h$  и толщина стенки  $\delta$  для балки, имеющей ребра жесткости - по номограммам, приведенным на рис.32а и 33а для балки, не имеющей ребра жесткости - по номограммам, приведенным на рис.34а и 35а.

**П р и м е ч а н и е.** На каждой номограмме пунктирной линией изображен способ определения размеров и количества полос нагрева по заданным исходным данным: тип стали (углеродистая или низколегированная), сторона отсека и толщина стенки, стрелка хлопуна. Примеры расположения на поверхности стенки полос, количество и размеры которых были получены из номограмм (см.пунктирные линии), приведены на рис.32б - 35б.

7.8. Ширина полосы нагрева  $\bar{v}$ , определяемая по номограмме, не должна превышать критической величины  $\bar{v}_{кр}$ , полученной по этой же шкале  $\bar{v}$ , против заданного значения толщины стенки.

Если пересечение А пунктирных линий (см.рис.32а и 35а) попадает точно на кривую с обозначением количества  $N$  полос нагрева, то следует принимать  $\bar{v} = \bar{v}_{кр}$ . В противном случае вертикальную пунктирную линию продолжают до пересечения Б с ближайшей кривой с большим значением  $N$ , откуда проводя



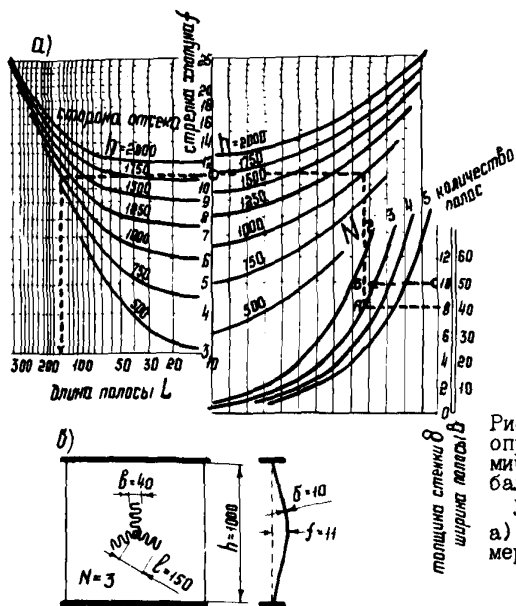


Рис.32. Номенграмма для определения режима термической правки стенки балки, изготовленной из углеродистой стали:  
а) номенграмма; б) пример определения режима правки

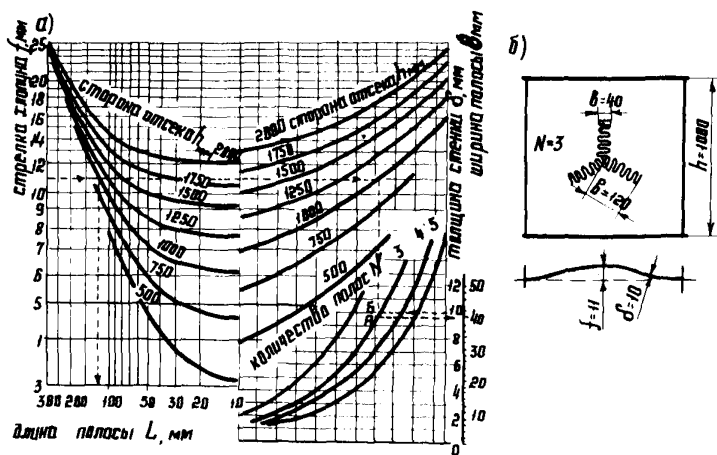


Рис.33. Номенграмма для определения режимов правки стенки балки, изготовленной из низколегированной стали:  
а - номенграмма; б - пример определения режима правки

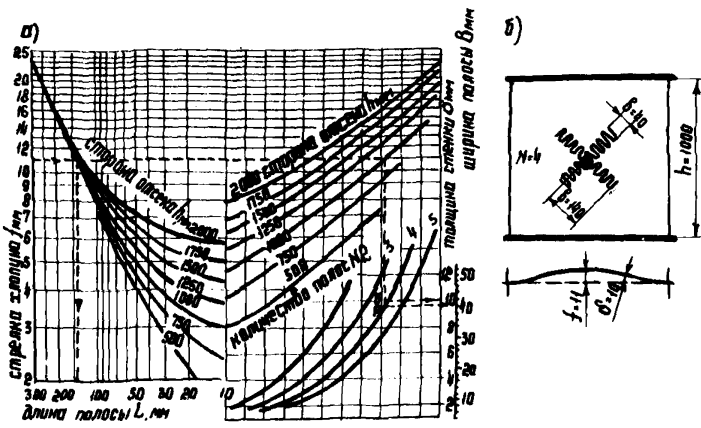


Рис.34. Номограмма для определения режимов термической правки стенок балок без ребер жесткости, изготовленной из углеродистой стали:

а - номограмма; б - пример определения режима правки

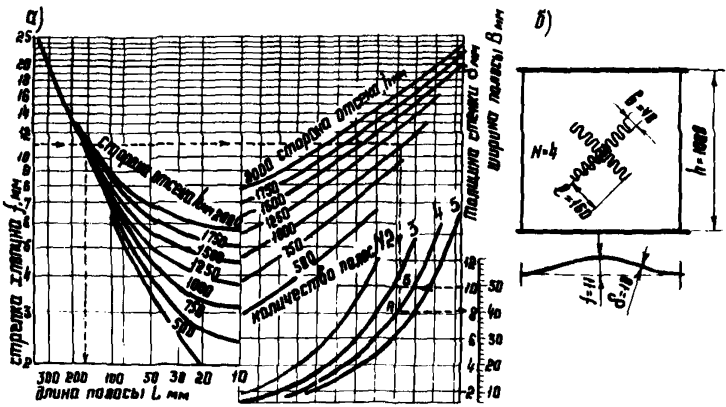


Рис.35. Номограмма для определения режимов термической правки стенок балок без ребер жесткости, изготовленной из низколегированной стали:

а - номограмма; б - пример определения режима правки

горизонтальную пунктирную линию до шкалы  $\delta$ , определяют требуемое значение ширины полосы.

7.9. При соотношении стороны отсека с хлопунотом, не превышающим 1,5, режим правки хлопунота определяют, исходя из размера большей стороны  $h$ . В противном случае режим правки назначают для каждой стороны отсека отдельно, располагая полученные номограммами полосы против соответствующей расчетной стороны отсека.

**П р и м е ч а н и е.** Например, для хлопунотов с цилиндрической поверхностью (в балках без ребер жесткости), который можно представить как вписанный в прямоугольник со сторонами  $h$  и  $\infty$ , расчетной стороной является только  $h$ , так как при  $\infty$  определяемое количество полос равно нулю. Следовательно, полосы нужно располагать перпендикулярно стороне  $h$  на равном друг от друга расстоянии.

7.10. В процессе правки рекомендуется контролировать величину усадки стенки следующим образом.

После остывания первой нагретой полосы определить с помощью линейки величину уменьшения стрелки хлопунота  $f_1$ , и сравнить ее с теоретической, равной

$$f_1^m = \frac{f - f_{доп}}{N},$$

где  $f$  - стрелка, измеренная до правки;  
 $f_{доп}$  - максимально допустимое выпучивание стенки;  
 $N$  - число полос нагрева, определенное по номограмме.

Если  $f_1 \geq f_1^m$ , то правку следует продолжать согласно определенному по соответствующей номограмме режиму.

Если  $f_1 < f_1^m$  (что может быть следствием высокого предела текучести металла стенки, наличия значительных растягивающих остаточных напряжений от предшествующей правки и др.), то следует изменить выбранный режим, увеличивая либо ширину полосы нагрева с соблюдением условия  $\delta \leq \delta_{кр}$  или увеличивая число нагреваемых полос  $N$ .

После остывания второй нагретой полосы, при необходимости, производится дальнейшая корректировка выбранного режима.

7.11. Режимы для термомеханической правки хлопунотов в стенках балок с ребрами жесткости, изготовленных из термически упрочненных сталей, рекомендуется определять по приведенной на номограмме (рис.32 или 34); при этом полученная по номограмме величина  $\delta$  должна быть умножена на коэффициент 0,75.

7.12. При термомеханической правке хлопнуов нагревом пятен их следует располагать в шахматном порядке вокруг центра хлопнуа на расстоянии, не превышающем  $\ell$  (см.п.7.11). Диаметр пятен нагрева не должен превышать значений, приведенных в табл.9.

Т а б л и ц а 9

Вид стали	Диаметр пятен нагрева при толщине стенки, мм			
	8	10	12	14
Углеродистая	50	60	75	90
Низколегированная (горячекатаная)	40	50	65	75
Низколегированная (термически упроченная)	40	50	60	70

Разрешается одновременно нагревать не свыше 4-5 наиболее удаленных друг от друга пятен. Нагрев новых пятен следует осуществлять после полного остывания ранее нагретых пятен.

7.13. При термомеханической правке нагрев стенки следует производить только после установки на ее выпуклую сторону (в центре или симметрично относительно центра хлопнуа через распределяющие прокладки) груза или какого-либо приспособления, препятствующего увеличению стрелки хлопнуа за счет нагрева.

Величину механического усилия (вес груза, усилие от действия домкрата) следует подбирать опытным путем перед началом правки, исходя из условия, чтобы хлопну не был продавлен в обратную сторону.

7.14. Перед термомеханической правкой стенки с двояковыпуклыми хлопнуами следует установить груз на центр одного их хлопнуов, а под центром другого укрепить распорку, препятствующую его выпучиванию под действием груза.

7.15. При термомеханической правке допускается нагревать стенку с вогнутой стороны.

7.16. Режим термической правки выпученного участка стенки в зоне монтажного стыка ("половинного" хлопнуа) допускается определять по пп.7.7, 7.8 как для целого хлопнуа. Определенное по номограмме количество полос нагрева необходимо разделить пополам и расположить полосы радиально от центра хлопнуа таким образом, чтобы крайние полосы не были параллельны свободной кромке стенки (см.рис.21).

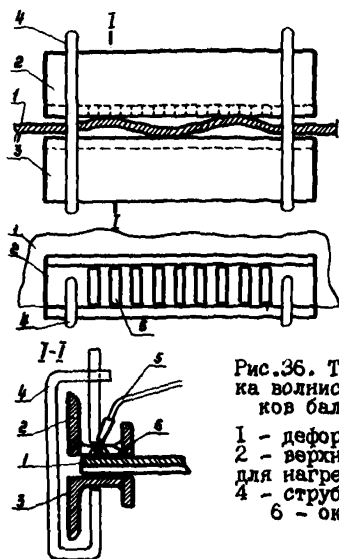


Рис.36. Термомеханическая правка волнистости концевых участков балок и отдельных листов:

- 1 - деформированный лист;
- 2 - верхний прижим с окошками для нагрева;
- 3 - нижний прижим;
- 4 - струбцина;
- 5 - горелка;
- 6 - окошки для нагрева

7.17. В случае волнистости свободных кромок стенки в зоне монтажного стыка рекомендуется применять термомеханический метод правки нагревом полос сквозь специальные окна (6), приспособления, изображенного на рис.36.

Струбцины приспособления следует затягивать до нагрева и в процессе правки подтягивать.

Во избежание чрезмерной усадки полос и, как следствие, сокращение высоты стенки в зоне монтажного стыка не следует сразу нагревать много полос. Рекомендуется после нагрева и остывания 2-3 полос измерить стрелку выпучивания и при необходимости вновь продолжить правку, нагревая не более 2-3 полос.

7.18. Допускается применение воздушно-струйного искусственного охлаждения нагретых стенок, за исключением изготовленных из термически упроченной стали.

## 8. ПРАВКА ПРОЧИХ ВИДОВ ДЕФОРМАЦИЙ

8.1. Правку винтообразности коробчатых сварных элементов следует производить термическим способом и в отдельных случаях (см.п.8.4) - комбинированным способом.

8.2. Термическая правка винтообразности должна производиться нагревом вертикальных и горизонтальных листов коробчатых элементов в местах наибольшей деформации. Нагрев следует производить двумя парами клиньев в одном сечении элемента, причем общее основание каждой пары должно располагаться на двух противоположных по направлению диагонали гранях.

В том случае, если нагрев в одном сечении не исправляет деформацию до требуемой величины, элемент следует нагреть в другом сечении.

8.3. Если винтообразность коробчатого элемента невозможно исправить термическим способом, необходимо срезать верхний го-

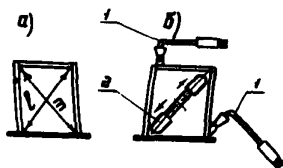


Рис.37. Термомеханическая правка ромбовидности коробчатого сечения:  
 а - деформированное сечение элемента;  
 б - нагрев горелками 1 элемента расжатого домкратом 2 по диагонали  $\varphi$

ризонтальный лист и затем выправить элемент холодным способом. После этого верхний горизонтальный лист следует заново приварить, соблюдая правильную последовательность технологического процесса.

8.4. Для правки ромбовидности коробчатых элементов необходимо разжать сечение домкратом по короткой диагонали на величину, равную двукратному укорочению данной диагонали. Затем производят нагрев полос рядом с наружными швами, расположенными по короткой диагонали, с одной стороны каждого шва. При необходимости следует продолжить нагрев с другой стороны шва (рис.37).

## Характеристики газопламенных горелок

Тип горелки	Длина, мм	Масса, кг	Горючий газ	Номер наконечника	Расход газа, м <sup>3</sup> /ч		Эффективная мощность пламени, кал/с
					горючего	кислорода	
ГЗУ-2-62П	585	1,5	пропан-бутан или природный газ	6	0,65-1,05	2,2-3,6	до 3000
				7 (сетчатые)	1,05-1,7	3,5-5,8	до 4300
ГВПН	630	1,5	пропан-бутан		1,0-1,2	(воздух из атмосферы)	(1500)
ГВ-I		1,5	пропан-бутан	1	0,6	(воздух из атмосферы)	(1000)
				2	1,2		(1500)
				3	1,7		(2000)
ГС-3	600	1,0	ацетилен	5	0,66-1,10	0,47-1,2	1300
				6	1,05-1,75	1,15-1,95	1750
				7	1,70-2,80	1,90-3,10	2200
ГС-4	-	-	ацетилен	8	2,8-4,5	3,1-5,0	(3000)
				9	4,5-7,0	5,0-8,0	(4000)
ГС-4П	-	-	пропан-бутан	8	1,7-2,7	6,0-9,5	(5000)
				9 (сетчатые)	2,7-4,2	9,5-14,7	(7000)
ГАО-2-72	1290	2,0	ацетилен	(многопламенные)	2,0	2,2	(2000)

Примечания: 1. В скобках приведены ориентировочные расчетные значения эффективной мощности пламени горелок.

2. Горелки типа ГЗУ-2-62П, ГВПН, ГВ-I, ГС-3 и ГАО-2-72 отличаются только наконечниками и имеют рукоятку горелки ГС-3.

3. Горелка ГВ-I в отличие от горелки ГВПН имеет более длинное пламя (до 1 м). Во время эксплуатации следует эти горелки держать наклонно по отношению к нагреваемой поверхности.

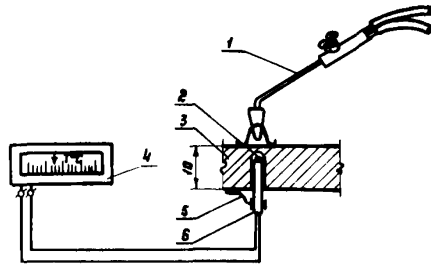
## Приложение 2

### Устройство для контроля температуры нагрева и основные показатели термопар

Устройство (рис.1) предназначено для визуального определения и контроля температуры нагрева, которая для термической и термомеханической правки принимается равной  $700^{\circ}\text{C}$ .

Устройство состоит из хромель-алюмелевой термопары, закрепленной, как это показано на рис.1, в стальной очищенной от окалины пластинке и подсоединенной к измерительному прибору со шкалой, проградуированной в градусах Цельсия.

Характеристики термопар и приборов приведены в табл.1 и 2.





Т а б л и ц а 1

Характеристика термопар	Тип термопар		
	хромель-копелевая	хромель-алюмелевая	платинородий-платиновая
Пределы измерения температур, °С:			
при длительном применении	600	1000	1300
при кратковременном применении	800	1300	1600
Марки стандартных термопар	ТХКП-15М (поверхностная)	ТХАП-15М ТХА-0525А ТХА-0806	ТПП-0555

Т а б л и ц а 2

Наименование приборов	Характеристики приборов		
	марка	масса, кг	примечание
Пирометрические милливольтметры	МПП-054 (МПП-154, МПП-254, МПП-354)	0,5	Показывающий, переносной
	МПЩПр-54М	0,5	Показывающий, щитовой
	МСЩПр-018 (МСЩПр-01-18, МСЩПр-02-18, МСЩПр-03-18)	12,0	Самопишущий, щитовой; переменный ток
Автоматические электронные потенциометры	ЭПП, ЭПД, ПСИ, ПСР1, КСПЗ (ПЭД-250) ПП63, КП-59	20-40	Самопишущие, многоточечные, имеют большие габариты  Переносные контрольные приборы лабораторного типа

Примечание. В отличие от милливольтметров, потенциометры не требуют применения специальных компенсирующих устройств.

Пятно, нагреваемое на пластинке, должно быть расположено точно над местом закрепления термопары. Для этой цели на пластине следует предварительно обозначить место нагрева пятна.

После нагрева пятна до температуры, зарегистрированной прибором, правильщик должен запомнить цвет каления металла под пламенем горелки и прекратить нагрев. Затем, не глядя на прибор, правильщик должен повторно нагреть пластинку до температуры, определяемой по калению металла, и затем проверить результат по прибору. При несовпадении результатов нагрева следует повторить до приобретения устойчивого навыка.

Листоправильные машины

Технические характеристики	Англия		Япония	UBRK 25x x3200
	"Бенни" 26x x3100	HRL 96 25x x2438	Фудзи Шаге 40x x3200	
Максимальная ширина листа, мм	3100	2438	3200	3200
Максимальная толщина листа, мм	26	25,4	8+40	25
Временное сопротивление разрыву листа, МПа	400	380	-	500
Предел текучести листа, МПа	250	220	400	350
Скорость правки, м/мин.	6,0-12,0	9,14	6+20	12
Число правильных валков, шт.	7	7	11	7
Общее число опорных роликов, шт.	-	5	22	18
Диаметр наружных направляющих валков, мм	360	335,6	450	320
Диаметр правильных валков, мм	400	264,2	400	270
Диаметр опорных роликов, мм	-	264,2	400	268
Шаг правильных валков, мм	440	267	440	280
Шаг крайних правильных валков (между направляющим и правильным), мм	440	325	440	320
Величина подъема и опускания рабочих валков от нейтральной линии, мм - вверх	+140	-	+200	-
- вниз	- 40	- 30	- 30	- 30
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	55	100	300	63
Предел текучести материала правильных валков, МПа	-	264	-	500
Расстояние между осями правильных валков (пролет валков), мм - ширина	3475	3000	-	4040
Габариты, мм: ширина	-	-	-	2700
длина	-	-	-	8923
высота (общая)	-	-	-	3705
высота над полом	-	-	-	2635
Общая масса машины, кг	-	-	-	66580

Приложение 3

с параллельными рядами валков

Г Д Р ЧССР				С С С Р					
УВРК 32х х3200	УВРК 40х х3200	УВРК 50х х4500	ХЗМ 40х х3000	СКМЗ 32х х2500	СКМЗ 25х х2500	СКМЗ 30х х3450	СКМЗ 35х х2650	СКМЗ 50х х3500	СКМЗ 50х х4500
3200	3200	4500	3000	2500	2500	3450	2650	3500	4500
32	40	50	40	32	25	30	35	50	50
500	500	500	450	400	-	800	800	800	500
350	350	350	280	240	300	500	500	500	350
12	9,0	3,6-12,2	16-10	8,3	8,25	12	-	5-9	4-12
7	7	9	7	7	7	7	9	9	7
18	18	40	10	6	6	10	14	14	10
345	380	-	380	320	320	550	-	640	950
290	340	400	320	320	320	500	360	600	800
288	334	480	320	270	270,320	500	360	-	-
300	350	500	345	380	360	510	370	750	1100
320	405	-	-	380	-	530	-	825	1250
-	-	-	-	-	-	+130	+130	+130	+200
-30	-30	-30	-40	-25	-40	-30	-30	-40	-120
110	100	200	210	100	100	-	-	-	-
500	500	-	-	-	-	-	-	-	-
4200	4850	-	3595	2980	-	-	-	4560	6400
3200	3200	7500	5400	-	4190	6015	4905	16695	24560
9800	10800	12330	11000	-	11000	14380	11828	16695	37670
4215	5340	7570	-	-	5560	7650	6368	(с рольгангом) 10245	37670
2930	3520	4620	5200	-	-	-	-	7615	9873
88765	131823	470000	180000	-	118026	424400	211500	1270000	-
								(с рольгангом)	

Зависимость радиуса изгиба ( $\rho$ ) от

Радиус кривизны листа $R$ , мм	Радиус изгиба ( $\rho$ ) при									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
100	92	94	96	97	97	97	97	97	97	97
500	362	397	418	431	441	448	454	457	460	462
1000	573	668	727	766	796	819	836	852	862	873
1500	719	864	964	1034	1089	1132	1166	1194	1219	1238
2000	823	1015	1152	1255	1335	1399	1452	1495	1534	1564
2500	905	1136	1308	1439	1545	1632	1703	1764	1814	1859
3000	969	1234	1435	1598	1727	1836	1925	2003	2068	2128
3500	1023	1318	1550	1734	1887	2016	2125	2218	2299	2370
4000	1068	1391	1646	1856	2030	2176	2302	2413	2509	2673
4500	1108	1454	1733	1963	2156	2322	2466	2591	2703	2801
5000	1128	1509	1808	2057	2271	2455	2665	2754	2880	2991
5500	1172	1558	1748	2145	2375	2575	2749	2903	3044	3166
6000	1200	1602	1938	2223	2471	2684	2875	3044	3196	3332
6500	1224	1644	1994	2296	2556	2786	2990	3173	3337	3485
7000	1246	1680	2045	2363	2639	2882	3098	3293	3469	3630
7500	1265	1714	2094	2423	2713	2969	3200	3407	3594	3766
8000	1283	1743	2137	2479	2780	3051	3294	3512	3710	3892
8500	1300	1773	2178	2531	2848	3128	3381	3611	3820	4012
9000	1316	1798	2215	2582	2907	3201	3465	3705	3925	4127
9500	1331	1823	2251	2628	2964	3268	3543	3794	4024	4234
10000	1344	1846	2283	2671	3018	3331	3616	3878	4117	4338

Приложение 4

радиуса исходной кривизны листа ( $R$ ) для стали

с  $G_T = 200$  МПа,  $E_T = 2500$  МПа

толщине листа, в мм										
24	25	28	30	32	36	40	50	60	70	80
97	97	98	98	98	98	98	98	98	98	99
465	465	470	472	474	474	476	476	482	483	484
882	885	898	900	905	914	920	933	941	948	951
1254	1272	1282	1293	1304	1323	1336	1362	1381	1394	1404
1593	1606	1637	1656	1672	1701	1747	1770	1800	1823	1841
1898	1917	1967	1990	2014	2036	2092	2158	2203	2237	2263
2178	2202	2264	2300	2331	2389	2435	2525	2589	2637	2672
2435	2462	2541	2587	2627	2699	2761	2875	2958	3020	3069
2670	2705	2800	2854	2903	2993	3066	3209	3313	3390	3451
2889	2928	3039	3104	3163	3268	3356	3529	3654	3749	3822
3090	3137	3262	3338	3406	3526	3630	3832	3980	4095	4183
3279	3332	3472	3557	3634	3773	3890	4124	4295	4427	4532
3455	3513	3670	3764	3851	4006	4139	4402	4600	4750	4871
3620	3684	3855	3959	4056	4226	4374	4669	4891	5063	5201
3774	3843	4032	4143	4248	4435	4599	4927	5174	5365	5519
3921	3994	4197	4318	4432	4636	4814	5173	5444	5658	5830
4011	4136	4353	4485	4607	4826	5018	5409	5708	5943	6131
4351	4272	4503	4642	4773	5008	5216	5639	5962	6218	6426
4482	4569	4644	4792	4932	5182	5403	5858	6207	6485	6712
4609	4694	4780	4935	5083	5350	5585	6070	6445	6746	6989
4727	4817	4907	5074	5227	5510	5759	6273	6676	6996	7260

Зависимость радиуса изгиба ( $\rho$ ) от

Радиус кривизны листа ( $R$ ), мм	Радиус изгиба ( $\rho$ ) в мм, при									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
100	89	91	94	95	95	96	96	96	97	97
500	325	365	390	407	419	428	435	441	446	450
1000	490	585	649	696	731	759	781	799	814	827
1500	594	734	836	913	974	1022	1063	1095	1125	1150
2000	668	845	979	1084	1169	1239	1298	1348	1391	1429
2500	724	932	1094	1224	1332	1422	1499	1565	1623	1674
3000	768	1002	1168	1341	1469	1578	1672	1754	1826	1890
3500	804	1060	1267	1440	1587	1714	1824	1921	2007	2084
4000	835	1109	1336	1527	1691	1833	1959	2070	2169	2258
4500	861	1152	1395	1602	1782	1940	2079	2203	2315	2416
5000	883	1189	1447	1670	1864	2035	2188	2325	2448	2561
5500	903	1222	1494	1730	1937	2121	2286	2435	2570	2693
6000	921	1252	1536	1784	2003	2200	2376	2536	2682	2815
6500	937	1279	1574	1833	2064	2271	2459	2629	2785	2928
7000	951	1303	1608	1878	2120	2337	2535	2715	2881	3033
7500	964	1325	1640	1920	2171	2398	2606	2795	2970	3132
8000	976	1345	1669	1958	2219	2455	2671	2870	3053	3223
8500	987	1364	1696	1994	2263	2508	2733	2940	3131	3309
9000	997	1381	1721	2027	2304	2557	2790	3005	3205	3391
9500	1006	1397	1745	2058	2342	2606	2844	3067	3274	3467
10000	1015	1412	1767	2087	2379	2647	2895	3125	3339	3539

## Продолжение приложения 4

радиуса исходной кривизны листа ( R ) для стали

 $\sigma_T = 300 \text{ МПа}$ ,  $E_s = 2500 \text{ МПа}$ 

толщине листа, в мм										
24	25	28	30	32	36	40	50	60	70	80
97	97	97	97	97	97	98	98	98	98	98
453	454	458	460	462	466	468	473	476	478	480
833	844	857	864	871	882	892	909	921	930	936
1171	1181	1207	1222	1235	1258	1277	1313	1337	1356	1370
1462	1477	1517	1541	1562	1598	1629	1687	1729	1759	1783
1719	1738	1795	1827	1857	1909	1952	2036	2096	2142	2177
1947	1974	2045	2087	2125	2183	2250	2362	2443	2505	2554
2153	2185	2272	2324	2371	2455	2526	2667	2771	2851	2913
2339	2376	2479	2540	2596	2696	2783	2954	3081	3180	3258
2508	2551	2669	2739	2804	2921	3022	3224	3375	3493	3588
2663	2711	2844	2923	2997	3130	3245	3478	3655	3793	3904
2806	2859	3006	3094	3177	3325	3455	3719	3921	4080	4208
2938	2996	3156	3253	3344	3508	3652	3947	4174	4354	4501
3060	3123	3296	3402	3501	3680	3838	4164	4416	4617	4782
3175	3241	3428	3541	3648	3842	4014	4369	4647	4870	5053
3281	3352	3551	3672	3787	3995	4180	4565	4848	5112	5314
3381	3456	3667	3796	3917	4139	4338	4752	5080	5346	5566
3475	3554	3776	3912	4041	4277	4488	4931	5283	5570	5809
3564	3642	3879	4023	4158	4407	4671	5102	5479	5787	6044
3648	3734	3977	4127	4269	4531	4767	5265	5666	5996	6271
3727	3817	4070	4227	4375	4649	4897	5422	5847	6197	6491



Зависимость радиуса изгиба ( $\rho$ ) от

Радиус кривизны листа ( $R$ ), мм	Радиус изгиба ( $\rho$ ) в мм, при									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
100	87	90	92	94	94	95	95	96	96	96
500	293	338	366	386	400	411	420	427	433	438
1000	423	518	586	636	675	707	732	754	772	787
1500	501	635	735	814	878	931	975	1013	1045	1074
2000	555	718	846	950	1036	1109	1171	1225	1272	1314
2500	595	782	933	1058	1164	1254	1333	1403	1464	1518
3000	626	833	1003	1146	1269	1377	1471	1554	1629	1696
3500	652	874	1061	1220	1359	1481	1589	1686	1773	1852
4000	673	909	1110	1284	1436	1572	1693	1802	1900	1990
4500	691	940	1153	1339	1504	1651	1784	1904	2014	2114
5000	707	966	1190	1388	1564	1722	1865	1996	2116	2226
5500	720	989	1223	1431	1617	1786	1939	2079	2208	2327
6000	732	1009	1253	1470	1665	1843	2005	2155	2292	2420
6500	743	1028	1279	1505	1709	1895	2066	2224	2370	2505
7000	753	1045	1304	1537	1749	1943	2122	2287	2441	2584
7500	762	1060	1326	1566	1785	1987	2173	2346	2507	2657
8000	770	1074	1346	1593	1819	2027	2220	2400	2568	2725
8500	777	1087	1365	1618	1850	2065	2264	2451	2625	2788
9000	784	1098	1382	1641	1879	2100	2306	2498	2678	2848
9500	790	1109	1398	1662	1906	2133	2344	2542	2728	2904
10000	796	1120	1413	1682	1932	2163	2380	2584	2775	2956

## Продолжение приложения 4

радиуса исходной кривизны листа ( R ) для стали

с  $G_T = 400$  МПа,  $E_1 = 2500$  МПа

толщине листа, в мм										
24	25	28	30	32	36	40	50	60	70	80
97	97	97	97	97	97	97	98	98	98	98
442	444	449	452	454	458	461	468	472	475	477
801	807	823	832	840	854	866	888	903	914	923
I098	III10	II40	II58	II74	I201	I224	I268	I299	I322	I340
I350	I367	I413	I440	I465	I507	I544	I614	I664	I702	I732
I567	I590	I652	I688	I721	I780	I831	I929	2002	2057	2101
I757	I785	I862	I908	I950	2026	2091	2220	2315	2389	2448
I924	I957	2049	2105	2156	2248	2327	2487	2607	2701	2776
2072	2111	2218	2282	2342	2450	2544	2735	2880	2995	3087
2206	2250	2370	2443	2512	2635	2743	2965	3136	3271	3382
2327	2375	2509	2591	2667	2805	2928	3180	3376	3533	3661
2438	2490	2636	2726	2810	2963	3099	3381	3602	3781	3928
2539	2595	2753	2850	2942	3109	3258	3570	3816	4016	4181
2632	2692	2861	2966	3064	3245	3407	3747	4018	4239	4423
2718	2782	2962	3073	3178	3372	3546	3914	4210	4452	4655
2798	2865	3056	3174	3285	3491	3667	4072	4392	4655	4876
2873	2943	3143	3267	3385	3603	3800	4222	4565	4849	5088
2942	3016	3225	3356	3479	3709	3917	4364	4729	5034	5292
3008	3085	3303	3439	3568	3808	4027	4499	4887	5211	5487
3069	3149	3375	3517	3652	3903	4132	4628	5037	5381	5675
3128	3210	3444	3591	3731	3932	4231	4751	5181	5544	5855

Зависимость радиуса изгиба ( $\rho$ ) от

Радиус кривизны листа ( $R$ ), мм	Радиус изгиба ( $\rho$ ) в мм, при									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
100	84	88	91	92	93	94	95	95	95	96
500	267	313	344	366	382	395	405	413	420	426
1000	373	465	533	586	627	661	689	712	732	750
1500	435	560	657	735	800	854	901	940	975	1006
2000	476	625	746	846	931	1004	1067	1122	1171	1215
2500	507	675	815	933	1035	1123	1202	1271	1333	1389
3000	530	714	869	1003	1119	1222	1314	1396	1471	1538
3500	549	746	914	1067	1190	1306	1410	1504	1589	1667
4000	565	773	952	1110	1251	1378	1492	1597	1693	1781
4500	579	795	985	1153	1304	1440	1565	1679	1784	1881
5000	590	815	1013	1190	1350	1496	1629	1752	1865	1971
5500	600	832	1038	1223	1391	1545	1686	1817	1939	2052
6000	609	848	1061	1253	1428	1589	1738	1877	2005	2126
6500	617	862	1081	1279	1462	1630	1785	1930	2066	2193
7000	624	874	1099	1304	1492	1666	1828	1980	2122	2235
7500	631	885	1115	1326	1520	1700	1868	2025	2173	2312
8000	637	896	1130	1346	1545	1731	1904	2067	2220	2365
8500	642	905	1144	1365	1569	1759	1938	2106	2264	2414
9000	647	914	1157	1382	1591	1786	1969	2142	2306	2460
9500	652	922	1169	1398	1611	1811	1999	2176	2344	2504
10000	656	930	1180	1413	1630	1834	2026	2208	2380	2544

## Продолжение приложения 4

радиуса исходной кривизны листа (  $R$  ) для сталис  $\sigma_T = 500$  МПа,  $E_s = 2500$  МПа

толщине листа, в мм										
24	25	28	30	32	36	40	50	60	70	80
96	96	96	97	97	97	97	97	98	98	98
43I	433	439	442	445	450	454	46I	467	470	473
765	772	790	80I	8I0	827	840	866	884	898	908
I033	I045	I079	I098	III6	II47	II74	I224	I260	I288	I309
I254	I272	I32I	I350	I377	I424	I465	I544	I60I	I646	I68I
I440	I464	I529	I567	I603	I667	I72I	I83I	I9I2	I975	2026
I600	I629	I709	I757	I80I	I88I	I950	209I	2I07	2280	2347
I739	I773	I867	I924	I977	2072	2I56	2327	2459	2563	2648
I862	I900	2007	2072	2I33	2244	2342	2544	270I	2826	2929
I97I	20I4	2I33	2206	2275	2400	25I2	2743	2926	3073	3I94
2069	2II6	2247	2327	2403	2542	2667	2928	3I35	3303	3443
2I58	2208	2350	2438	2520	2673	28I0	3099	3330	3520	3678
2239	2292	2444	2539	2628	2793	2942	3258	35I3	3724	390I
23I2	2370	253I	2632	2727	2904	3064	3407	3585	39I7	4II2
238I	244I	26I2	27I8	28I9	3007	3I78	3546	3847	4099	43I2
2444	2507	2686	2798	2905	3I04	3285	3677	4000	4272	4503
2502	2568	2755	2873	2985	3I94	3385	3800	4I45	4436	4684
2557	2625	2820	2942	3059	3278	3479	39I7	4282	4592	4858
2607	2678	288I	3008	3I30	3358	3568	4027	44I2	4740	5023
2655	2728	2938	3069	3I96	3433	3652	4I32	4536	4882	5I82
2700	2775	299I	3I28	3238	3504	373I	423I	4655	50I8	5334

Зависимость радиуса изгиба ( $\rho$ ) от

Радиус кривизны листа ( $R$ ), мм	Радиус изгиба ( $\rho$ ) в мм, при									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
100	84	87	89	91	92	93	94	94	95	95
500	245	293	325	348	366	380	391	400	408	415
1000	334	423	490	523	586	621	650	675	697	716
1500	384	501	595	671	735	790	837	878	914	947
2000	418	555	668	764	846	918	981	1036	1086	1161
2500	442	595	724	836	933	1019	1095	1164	1226	1282
3000	461	626	769	893	1003	1101	1189	1269	1342	1409
3500	476	652	805	940	1061	1170	1269	1359	1442	1518
4000	488	678	835	980	1110	1229	1337	1436	1528	1613
4500	499	691	861	1014	1153	1280	1396	1504	1604	1697
5000	508	707	884	1044	1190	1324	1449	1564	1671	1771
5500	516	720	904	1070	1223	1364	1495	1617	1731	1838
6000	523	732	921	1094	1253	1400	1537	1665	1785	1899
6500	529	743	937	1115	1279	1432	1575	1709	1835	1954
7000	534	753	951	1134	1304	1462	1610	1749	1880	2004
7500	540	762	964	1162	1326	1488	1641	1785	1921	2050
8000	544	770	976	1168	1346	1513	1670	1819	1960	2093
8500	548	777	987	1182	1365	1536	1697	1850	1995	2133
9000	552	784	997	1196	1382	1557	1722	1879	2028	2170
9500	556	790	1007	1209	1398	1577	1746	1908	2059	2205
10000	559	796	1016	1220	1413	1595	1768	1932	2088	2237

## Продолжение приложения 4

радиуса исходной кривизны листа ( R ) для стали

с  $G_T = 600$  МПа,  $E_T = 2500$  МПа

толщине листа, в мм										
24	25	28	30	32	36	40	50	60	70	80
95	96	96	96	96	97	97	97	97	98	98
420	423	429	433	436	442	477	455	461	466	469
732	740	760	772	782	801	816	845	866	882	894
975	988	1024	1045	1065	1098	1127	1183	1224	1255	1280
1171	1190	1241	1272	1300	1350	1394	1480	1544	1593	1632
1333	1357	1424	1464	1501	1567	1625	1742	1831	1900	1956
1471	1500	1580	1629	1674	1767	1829	1977	2091	2181	2254
1589	1623	1716	1773	1826	1924	2010	2188	2327	2439	2531
1693	1730	1835	1900	1961	2072	2172	2380	2544	2677	2788
1784	1825	1942	2014	2081	2206	2318	2550	2743	2898	3027
1865	1910	2037	2116	2190	2327	2451	2715	2928	3103	3251
1939	1987	2123	2208	2289	2438	2573	2863	3099	3295	3461
2005	2056	2202	2292	2379	2539	2685	2999	3258	3474	3658
2066	2120	2273	2370	2461	2632	2788	3127	3407	3642	3844
2122	2178	2340	2441	2537	2718	2884	3245	3546	3801	4020
2173	2232	2401	2507	2608	2798	2973	3356	3677	3950	4186
2220	2282	2457	2568	2674	2873	3056	3460	3800	4092	4344
2264	2328	2510	2625	2735	2942	3135	3558	3917	4226	4494
2306	2371	2559	2678	2792	3008	3208	3651	4027	4353	4637
2344	2412	2605	2728	2846	3069	3277	3738	4132	4474	4773
2380	2450	2649	2775	2897	3128	3342	3821	4231	4689	4903

Зависимость радиуса изгиба ( $\rho$ ) от

Радиус кривизны листа ( $R$ ), мм	Радиус изгиба ( $\rho$ ) в мм, при									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
100	79	85	88	90	91	92	93	94	94	95
500	227	275	308	332	351	366	368	388	397	404
1000	303	338	454	507	550	586	616	642	665	685
1500	345	455	544	618	681	785	783	894	861	894
2000	372	500	606	697	777	846	908	963	1013	1058
2500	392	533	653	758	850	903	1007	1074	1135	1191
3000	408	559	690	806	909	1003	1087	1165	1236	1302
3500	420	580	720	845	958	1061	1155	1241	1321	1395
4000	430	597	745	878	999	1110	1212	1307	1395	1477
4500	439	612	706	906	1035	1153	1262	1364	1459	1548
5000	446	624	785	931	1066	1190	1306	1414	1515	1611
5500	452	635	801	953	1093	1223	1345	1459	1566	1667
6000	458	645	815	972	1117	1253	1380	1499	1611	1718
6500	463	654	828	989	1139	1279	1411	1535	1653	1764
7000	468	662	840	1005	1159	1304	1440	1568	1690	1806
7500	472	669	851	1019	1177	1326	1466	1598	1725	1845
8000	475	676	860	1032	1194	1346	1490	1626	1756	1880
8500	479	682	869	1044	1209	1365	1512	1652	1786	1913
9000	482	687	877	1056	1223	1382	1533	1676	1813	1944
9500	485	692	885	1066	1236	1398	1552	1698	1838	1973
10000	488	697	892	1075	1249	1413	1570	1719	1862	1999

## Продолжение приложения 4

радиуса исходной кривизны листа (  $R$  ) для сталис  $\sigma_T = 700$  МПа,  $E_f = 2500$  МПа

толщине листа, в мм										
24	25	28	30	32	36	40	50	60	70	80
95	95	95	96	96	96	96	97	97	97	98
410	413	420	424	428	435	440	450	456	461	465
703	711	732	745	756	776	793	826	849	866	880
924	988	975	997	1018	1054	1085	1145	1190	1224	1251
1099	1118	1171	1203	1232	1284	1313	1421	1490	1544	1587
1242	1266	1333	1374	1412	1480	1540	1662	1756	1831	1891
1362	1391	1471	1520	1566	1649	1723	1876	1995	2091	2169
1464	1497	1589	1646	1699	1796	1883	2066	2210	2327	2424
1553	1590	1693	1756	1860	1927	2026	2237	2406	2544	2660
1631	1671	1784	1854	1920	2043	2154	2392	2584	2743	2878
1700	1743	1865	1942	2014	2148	2270	2533	2748	2928	3080
1762	1808	1939	2020	2098	2243	2376	2662	2899	3099	3269
1818	1867	2005	2092	2175	2330	2472	2782	3039	3258	3445
1869	1920	2066	2158	2245	2409	2561	2892	3170	3407	3611
1916	1969	2122	2218	2310	2483	2643	2994	3291	3546	3767
1959	2014	2173	2273	2369	2551	2719	3090	3405	3677	3914
1999	2056	2220	2325	2425	2614	2789	3179	3512	3800	4053
2035	2094	2264	2372	2476	2673	2856	3263	3613	3917	4184
2069	2130	2306	2417	2524	2728	2918	3342	3708	4027	4309
2101	2164	2344	2459	2569	2779	2976	3416	3798	4132	4428
2131	2195	2380	2498	2612	2828	3031	3487	3883	4231	4541



Зависимость радиуса изгиба ( $\rho$ ) от

Радиус кривизны листа (R), мм	Радиус изгиба ( $\rho$ ) в мм, при									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
100	77	83	87	89	90	91	92	93	94	94
500	212	259	293	318	338	353	366	377	386	394
1000	278	359	423	475	518	554	586	612	636	657
1500	313	416	501	573	635	688	735	777	814	848
2000	336	455	555	642	718	786	846	901	950	995
2500	353	483	595	694	782	861	933	998	1058	1113
3000	366	505	624	735	833	921	1003	1077	1146	1210
3500	376	522	652	768	874	971	1061	1144	1220	1292
4000	385	537	673	796	909	1014	1110	1200	1284	1363
4500	392	549	691	820	940	1050	1153	1249	1339	1424
5000	398	560	707	841	966	1082	1190	1292	1388	1478
5500	403	569	720	859	989	1110	1223	1330	1431	1526
6000	408	577	732	876	1009	1135	1253	1364	1470	1570
6500	412	585	743	890	1028	1157	1279	1395	1505	1609
7000	416	591	753	903	1045	1178	1304	1423	1537	1645
7500	419	597	762	915	1060	1196	1326	1449	1566	1678
8000	422	603	770	926	1074	1213	1346	1472	1593	1708
8500	425	608	777	936	1087	1229	1365	1494	1618	1736
9000	428	612	784	946	1098	1244	1382	1514	1641	1762
9500	430	616	790	954	1109	1257	1398	1533	1662	1787
10000	433	620	796	962	1120	1270	1413	1550	1682	1809

## Продолжение приложения 4

радиуса исходной кривизны листа ( R ) для стали

с  $\sigma_T = 800$  МПа,  $E_s = 2500$  МПа

толщине листа, в мм										
24	25	28	30	32	36	40	50	60	70	80
94	95	95	95	95	96	96	97	97	97	97
400	404	411	416	420	427	433	444	452	457	461
675	684	707	720	732	754	772	807	832	851	866
878	892	931	954	975	1013	1045	1110	1159	1195	1224
1036	1056	1109	1141	1171	1225	1272	1367	1440	1497	1744
1164	1188	1254	1295	1333	1403	1464	1590	1688	1767	1831
1269	1298	1377	1425	1471	1554	1629	1785	1908	2008	2091
1359	1391	1481	1537	1589	1686	1773	1957	2105	2226	2327
1436	1472	1572	1634	1693	1802	1900	2111	2282	2424	2544
1504	1542	1651	1719	1784	1904	2014	2250	2443	2606	2743
1564	1605	1722	1795	1865	1996	2116	2375	2591	2772	2928
1617	1661	1786	1864	1939	2079	2208	2490	2726	2926	3099
1665	1711	1843	1926	2005	2155	2292	2595	2850	3069	3258
1709	1757	1895	1982	2066	2224	2370	2692	2966	3201	3407
1749	1799	1943	2034	2122	2287	2441	2782	3073	3326	3546
1785	1837	1887	2082	2173	2346	2507	2865	3174	3442	3677
1819	1873	2027	2126	2220	2400	2568	2943	3267	3551	3800
1850	1905	2065	2166	2264	2451	2625	3016	3356	3653	3917
1879	1936	2100	2205	2306	2498	2678	3085	3439	3750	4027
1906	1964	2133	2240	2344	2542	2728	3149	3517	3842	4132
1932	1991	2163	2274	2380	2584	2775	3210	3591	3929	4231

Зависимость радиуса изгиба ( $\rho$ ) от

Радиус кривизны листа ( $R$ ), мм	Радиус изгиба ( $\rho$ ) в мм, при									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
100	75	82	85	88	89	91	92	92	93	93
500	198	245	279	305	325	341	355	366	376	384
1000	256	334	390	447	490	527	558	586	610	631
1500	287	384	465	535	595	647	694	735	773	807
2000	307	418	512	595	668	734	793	846	895	940
2500	321	442	547	640	724	800	869	933	991	1045
3000	332	461	574	676	769	853	931	1003	1069	1131
3500	341	476	596	705	805	897	982	1061	1135	1204
4000	348	488	614	729	835	933	1025	1110	1190	1266
4500	354	499	630	750	861	965	1065	1153	1239	1320
5000	360	508	643	768	884	992	1094	1190	1281	1367
5500	364	516	655	783	904	1016	1123	1223	1318	1409
6000	368	523	665	797	921	1038	1148	1253	1352	1447
6500	372	529	674	810	937	1057	1171	1279	1382	1481
7000	375	534	682	821	951	1075	1192	1304	1410	1512
7500	378	540	690	831	964	1091	1211	1326	1435	1540
8000	380	544	697	840	976	1105	1228	1346	1458	1567
8500	383	548	703	849	987	1119	1244	1365	1480	1591
9000	385	552	709	857	997	1131	1259	1382	1500	1613
9500	387	556	714	864	1007	1143	1275	1398	1518	1634
10000	389	559	719	871	1016	1154	1286	1413	1535	1654

Продолжение приложения 4

радиуса исходной кривизны листа ( R ) для стали

с  $\sigma_T = 900$  МПа,  $E_s = 2500$  МПа.

толщине листа, в мм										
24	25	28	30	32	36	40	50	60	70	80
94	94	95	95	95	95	96	96	97	97	97
391	394	403	408	412	420	426	438	447	453	458
650	659	689	697	710	732	751	789	816	837	853
837	852	891	914	936	975	1009	1077	1127	1167	1198
981	1000	1053	1086	1116	1171	1219	1318	1394	1454	1503
1095	1119	1185	1226	1264	1333	1395	1524	1625	1707	1774
1189	1217	1294	1342	1388	1471	1546	1703	1829	1932	2018
1269	1300	1387	1442	1494	1589	1676	1860	2010	2134	2238
1337	1371	1468	1528	1586	1693	1790	2000	2172	2316	2399
1396	1433	1538	1604	1667	1784	1891	2125	2318	2482	2622
1449	1488	1600	1671	1739	1865	1982	2237	2451	2634	2791
1495	1537	1656	1731	1803	1939	2064	2340	2573	2773	2947
1537	1581	1706	1785	1862	2005	2139	2434	2685	2902	3091
1575	1621	1752	1835	1915	2066	2207	2520	2788	3021	3226
1610	1657	1793	1880	1963	2122	2269	2599	2884	3132	3351
1641	1690	1831	1921	2008	2173	2327	2673	2973	3236	3469
1670	1721	1867	1960	2049	2220	2381	2742	3056	3334	3580
1697	1749	1899	1996	2088	2264	2431	2806	3135	3425	3684
1722	1776	1930	2028	2124	2308	2477	2866	3208	3511	3783
1746	1800	1958	2059	2157	2344	2521	2923	3277	3592	3876
1768	1823	1985	2088	2188	2380	2562	2976	3342	3669	3964

Зависимость радиуса изгиба ( $\rho$ ) от

Радиус кривизны листа ( $R$ ), мм	Радиус изгиба ( $\rho$ ) в мм, при									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
100	73	80	84	87	88	90	91	92	92	93
500	187	233	267	293	313	330	344	356	366	375
1000	238	313	373	423	465	502	533	561	586	607
1500	265	357	435	501	560	611	657	698	735	769
2000	283	386	476	555	625	689	746	798	846	890
2500	295	408	507	595	645	748	815	876	933	986
3000	305	424	530	626	714	795	869	938	1003	1063
3500	312	437	549	652	746	833	914	990	1061	1127
4000	318	448	565	673	773	865	952	1034	1110	1183
4500	324	457	579	691	795	893	985	1071	1153	1230
5000	328	465	590	707	815	917	1013	1104	1190	1272
5500	332	472	600	720	832	938	1038	1133	1223	1309
6000	336	478	609	732	848	957	1061	1159	1253	1342
6500	339	483	617	743	862	974	1081	1182	1279	1372
7000	341	488	624	753	874	989	1099	1203	1304	1400
7500	344	492	631	762	885	1003	1115	1223	1326	1425
8000	346	496	637	770	896	1016	1130	1240	1346	1447
8500	348	500	642	777	905	1027	1144	1257	1365	1469
9000	350	503	647	784	914	1038	1157	1272	1382	1488
9500	352	506	652	780	922	1048	1169	1286	1398	1506
10000	353	509	656	706	930	1058	1180	1299	1413	1523

## Продолжение приложения 4

радиуса исходной кривизны листа (  $R$  ) для сталис  $\sigma_T = 1000$  МПа,  $E_s = 2500$  МПа

толщине листа, в мм										
24	25	28	30	32	36	40	50	60	70	80
93	94	94	94	95	95	95	96	97	97	97
382	386	395	400	405	413	420	433	442	449	454
627	636	661	675	689	712	732	772	801	823	840
800	814	854	878	901	940	975	1045	1098	1140	1174
931	950	1004	1036	1067	1122	1171	1272	1350	1413	1465
1035	1058	1123	1164	1202	1271	1333	1464	1567	1652	1721
1119	1146	1222	1269	1314	1396	1471	1629	1757	1862	1950
1190	1220	1306	1359	1410	1504	1589	1773	1924	2049	2156
1251	1284	1378	1436	1492	1597	1693	1900	2072	2218	2342
1304	1339	1440	1504	1565	1679	1784	2014	2206	2370	2512
1350	1388	1496	1564	1629	1752	1865	2116	2327	2509	2667
1391	1431	1545	1617	1686	1817	1939	2208	2438	2636	2810
1428	1470	1589	1665	1738	1877	2005	2292	2539	2753	2942
1462	1505	1630	1709	1755	1930	2056	2370	2632	2861	3064
1492	1537	1666	1749	1828	1980	2122	2441	2718	2962	3178
1520	1566	1700	1785	1868	2025	2173	2507	2798	3056	3285
1545	1593	1731	1819	1904	2067	2220	2568	2873	3143	3385
1569	1618	1759	1850	1938	2106	2264	2625	2942	3225	3479
1591	1641	1786	1879	1969	2142	2306	2678	3008	3303	3568
1611	1662	1811	1906	1999	2178	2344	2728	3069	3375	3652
1630	1682	1834	1932	2026	2208	2380	2775	3128	3444	3731

Зависимость радиуса изгиба ( $\rho$ ) от

Радиус кривизны листа $R$ , мм	Радиус изгиба ( $\rho$ ) в мм, при									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
100	70	77	82	85	87	88	89	90	91	92
500	167	212	245	271	293	310	325	338	348	358
1000	209	278	334	382	423	459	490	518	543	565
1500	230	313	384	446	501	550	595	635	671	705
2000	244	336	418	490	555	614	668	718	764	807
2500	254	353	442	522	595	662	724	782	836	886
3000	261	366	461	547	626	700	769	833	893	949
3500	267	376	476	567	652	731	805	874	940	1002
4000	272	385	488	584	673	757	835	909	980	1047
4500	276	392	499	598	691	778	861	940	1014	1085
5000	280	398	508	610	707	797	884	966	1044	1119
5500	283	403	516	621	720	814	904	989	1070	1148
6000	285	408	523	630	732	829	921	1009	1094	1175
6500	288	412	529	639	743	842	937	1028	1115	1199
7000	290	416	534	646	753	854	951	1045	1134	1220
7500	292	419	540	653	762	865	964	1060	1152	1240
8000	293	422	544	660	770	875	976	1074	1168	1258
8500	295	425	548	665	777	884	987	1087	1182	1275
9000	296	428	552	671	784	893	997	1098	1196	1290
9500	298	430	556	676	790	901	1007	1109	1209	1305
10000	299	433	559	680	796	908	1016	1120	1220	1318

Продолжение приложения 4

радиуса исходной кривизны листа ( $R$ ) для стали

с  $G_T = 1200$  МПа,  $E_s = 2500$  МПа

толщине листа, в мм

24	25	28	30	32	36	40	50	60	70	80
92	93	93	94	94	94	95	96	96	96	97
366	370	380	386	391	400	408	423	433	441	447
586	595	621	636	650	675	697	740	772	796	816
735	750	790	814	837	878	914	988	1045	1090	1127
846	865	918	950	981	1036	1086	1190	1272	1339	1394
933	955	1019	1058	1095	1164	1226	1357	1464	1552	1625
1003	1028	1101	1146	1189	1269	1342	1500	1629	1737	1829
1061	1089	1170	1220	1269	1359	1442	1623	1773	1900	2010
1110	1141	1229	1284	1337	1436	1528	1730	1900	2046	2172
1153	1186	1280	1339	1396	1504	1604	1825	2014	2176	2318
1190	1225	1324	1388	1449	1564	1671	1910	2116	2294	2451
1223	1260	1364	1431	1495	1617	1731	1987	2208	2402	2573
1253	1291	1400	1470	1537	1665	1785	2056	2292	2500	2685
1279	1319	1432	1505	1575	1709	1835	2120	2370	2591	2788
1304	1344	1462	1537	1610	1749	1880	2178	2441	2674	2884
1326	1367	1488	1566	1641	1785	1921	2232	2507	2752	2973
1346	1389	1513	1593	1670	1819	1960	2282	2568	2824	3056
1365	1408	1536	1618	1697	1850	1995	2328	2625	2892	3135
1382	1427	1557	1641	1722	1879	2028	2371	2678	2953	3208
1398	1444	1577	1662	1746	1906	2059	2412	2728	3015	3277
1413	1459	1595	1682	1768	1932	2088	2450	2775	3071	3342



Зависимость радиуса изгиба ( $\rho$ ) от

Радиус кривизны листа ( $R$ ), мм	Радиус изгиба ( $\rho$ ) в мм, при									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
100	71	79	83	86	87	89	90	91	92	92
500	176	222	255	282	303	320	334	347	357	366
1000	222	294	352	401	443	479	511	539	563	586
1500	246	334	408	472	529	579	624	665	702	735
2000	262	360	445	520	588	649	705	756	803	846
2500	273	378	472	556	632	702	767	826	881	933
3000	281	393	493	584	667	744	816	882	944	1003
3500	288	404	510	606	696	778	856	928	996	1061
4000	293	414	524	625	719	807	890	967	1041	1110
4500	298	422	536	641	739	832	919	1001	1079	1153
5000	302	429	546	655	757	853	944	1030	1112	1190
5500	305	435	555	667	772	872	966	1056	1141	1223
6000	308	440	563	677	786	888	986	1079	1168	1253
6500	311	443	570	687	798	903	1003	1099	1191	1279
7000	313	449	576	696	809	917	1020	1118	1213	1304
7500	316	453	582	703	819	929	1034	1135	1232	1326
8000	317	456	587	710	828	940	1048	1151	1250	1346
8500	319	460	592	717	836	950	1060	1165	1267	1365
9000	321	462	596	723	844	960	1071	1178	1282	1382
9500	322	465	600	728	851	969	1082	1191	1296	1398
10000	324	468	604	733	858	977	1092	1202	1309	1413

## Продолжение приложения 4

радиуса исходной кривизны листа (  $R$  ) для сталис  $\sigma_T = 1100$  МПа,  $E_s = 2500$  МПа

толщине листа, в мм										
24	25	28	30	32	36	40	50	60	70	80
93	93	94	94	94	95	95	96	96	97	97
374	378	387	393	398	407	414	428	438	445	450
605	615	640	655	669	693	714	755	786	809	828
766	781	821	845	868	908	944	1016	1071	1115	1150
886	905	959	991	1022	1077	1127	1229	1310	1375	1428
981	1004	1068	1108	1146	1215	1277	1408	1514	1600	1672
1058	1084	1158	1204	1248	1330	1403	1561	1690	1797	1888
1122	1151	1234	1286	1335	1427	1512	1694	1845	1972	2080
1176	1208	1299	1356	1410	1512	1606	1811	1982	2128	2254
1223	1257	1355	1416	1475	1586	1689	1914	2105	2269	2411
1265	1301	1405	1470	1533	1652	1763	2007	2216	2396	2554
1302	1339	1449	1518	1585	1711	1829	2091	2317	2513	2686
1334	1374	1488	1561	1631	1764	1889	2168	2409	2620	2807
1364	1405	1524	1600	1673	1812	1943	2237	2493	2719	2919
1391	1434	1557	1635	1712	1857	1993	2301	2571	2810	3023
1416	1460	1587	1668	1747	1897	2039	2361	2644	2895	3121
1438	1483	1614	1698	1772	1935	2081	2416	2711	2975	3212
1459	1505	1640	1726	1809	1969	2121	2467	2774	3049	3297
1479	1526	1663	1751	1837	2002	2158	2515	2833	3119	3378
1497	1545	1685	1775	1863	2032	2192	2560	2888	3184	3453
1514	1563	1706	1698	1888	2060	2224	2602	2940	3246	3525

Приложение 5

Предельные значения ширины и толщины листов,  
выправляемых различными машинами

Толщина листа, мм	$\sigma_T$ в МПа ( $E_T = 2500$ МПа)											
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	
	Допустимая ширина листа, мм											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Машина "Фудзе Шарё" 40x3200												
10-25	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
28	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	2360	440
30	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	2580	1980	400	360
32	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	2290	420	370	330	300
36	3200	3200	3200	3200	2150	400	340	300	270	250	230	
40	3200	3200	3200	410	340	290	360	230	210	190	180	
46	3200	430	340	280	240	210	190	170	150	140	130	
50	1990	320	270	230	200	170	150	140	130	120	110	
Машина КРМ 40x3000												
10-24			3000	3000	3000		3000	3000	3000	3000	3000	3000
25	3000	3000	3000	3000	3000		3000	3000	3000	3000	3000	2180
28	3000	3000	3000	3000	3000		3000	2220	410	360	330	
30	3000	3000	3000	3000	3000		1960	380	330	300	270	
32	3000	3000	3000	3000	2480	420	360	310	280	250	230	
36	3000	3000	3000	1810	340	290	260	230	210	190	180	
40	3000	2290	360	300	250	220	200	180	160	150	140	
46	400	300	240	210	180	160	140	130	120	110	100	
50	300	245	200	170	150	130	120	110	100	-	-	
60	185	150	130	100	100	-	-	-	-	-	-	
Машина НКМЗ 32x2500												
10-18			40	50	60	70	80	90	100	110	120	
20	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
22	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	1390	1170	1010	880	770
24	2500	2500	2500	2500	2500	1230	1030	870	750	670	610	
25	2500	2500	2500	2500	1330	1070	880	760	670	600	540	

Продолжение приложения 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28	2500	2500	1470	1090	870	730	620	550	490	440	410
30	2500	2500	1140	850	690	600	520	460	410	370	340
32	2500	1190	920	690	500	500	440	390	350	320	290
36	1170	760	610	500	420	360	320	290	260	240	220
40	750	560	450	380	320	280	250	230	210	190	180
46	480	380	300	260	230	200	180	170	150	140	130
50	380	310	240	210	190	170	150	140	130	120	110
60	230	190	160	140	120	110	100	-	-	-	-

Машина НКМЗ 25х2500

8-14	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
16	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	1430	1220	1070
18	2500	2500	2500	2500	2500	2500	1320	1110	950	820	730
20	2500	2500	2500	2500	1370	1110	950	820	680	610	550
22	2500	2500	2500	1240	990	790	680	610	530	470	430
24	2500	2500	1190	900	330	610	530	470	420	380	350
25	2500	2500	1040	780	650	550	420	380	380	340	320
28	1470	960	700	560	470	410	380	340	290	260	240
30	1130	730	580	460	390	340	290	260	240	220	210
32	900	600	490	390	330	290	240	220	210	200	180
36	590	425	350	290	250	220	200	180	160	150	140
40	420	320	260	230	200	170	160	140	130	120	110
46	280	230	185	165	140	125	110	100	100	-	-
50	220	190	150	130	120	110	-	-	-	-	-
60	145	120	100	-	-	-	-	-	-	-	-

Машина НРЛСГ 25х2438

6-12	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438
14	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438	1430
16	2438	2438	2438	2438	2438	2438	2438	1390	1190	1030	910
18	2438	2438	2438	2438	2438	1310	1090	920	790	700	630
20	2438	2438	2438	1410	1130	910	750	660	580	520	480
22	2438	2438	1330	1000	800	670	570	510	450	410	380
24	2438	1330	980	730	610	530	460	400	360	330	300
25	2438	1130	840	650	540	470	410	360	330	300	280

Продолжение приложения 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28	1155	730	660	470	400	350	310	280	250	230	210
30	855	590	480	400	380	290	260	240	210	200	180
32	665	490	400	340	280	250	220	210	190	170	160
36	455	355	290	250	220	190	-	-	-	-	-
40	335	270	220	-	-	-	-	-	-	-	-

Машина "Бенни" 25х3100

10-12	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100
14	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	2850
16	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	2620	2240	1930	1710
18	3100	3100	3100	3100	3100	2620	2060	1730	1500	1330	1230
20	3100	3100	3100	3100	2270	1790	1500	1290	1140	1020	920
22	3100	3100	3100	2160	1660	1370	1160	1020	900	810	740
24	3100	3100	2230	1630	1300	1090	940	820	740	660	610
25	3100	3100	1930	1450	1170	990	850	750	670	610	550
28	3100	1950	1380	1070	880	750	650	580	520	470	430
30	2380	1480	1140	900	750	640	560	500	450	400	370
32	1910	1300	970	770	640	550	480	430	390	350	320
36	1360	950	720	580	490	420	370	330	300	270	250
40	1020	730	560	460	390	330	300	260	240	220	200
46	770	570	450	360	320	280	240	210	190	170	150
50	570	420	330	280	240	210	-	-	-	-	-

Машина UBR<sub>к</sub> 25х3200

6-14	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
16	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	-
18	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	-	-	-
20	3200	3200	3200	3200	3200	3200	-	-	-	-	-
22	3200	3200	3200	-	-	-	-	-	-	-	-
24	3200	3200	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	3200	3200	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	3200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Машина UBR<sub>к</sub> 32х3200

6-20	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Продолжение приложения 5

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
22	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	-	-
24	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	-	-	-	-
25	3200	3200	3200	3200	3200	3200	-	-	-	-	-
28	3200	3200	3200	3200	-	-	-	-	-	-	-
30	3200	3200	3200	-	-	-	-	-	-	-	-
32	3200	3200	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Машина НКМЗ 30х3450

12-20	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450
22	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	2620	2090
24	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	2700	480	420	370
25	3450	3450	3450	3450	3450	3450	2930	2130	420	370	330
28	3450	3450	3450	3450	3010	480	400	350	310	280	260
30	3450	3450	3450	3450	465	385	330	295	270	240	220
32	3450	3450	2070	380	320	280	250	230	230	210	190
36	3450	3290	410	330	280	240	210	190	175	160	148
40	3150	410	310	250	220	190	170	150	140	125	120
46	370	270	220	180	160	140	120	110	100	-	-
50	300	220	180	150	130	115	100	-	-	-	-
60	180	140	120	100	-	-	-	-	-	-	-

Машина НКМЗ 50х4500

32	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
36	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	3920	3020
40	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	3540	2720	550	490
46	4500	4500	4500	4500	4500	2880	550	470	420	380	350
50	4500	4500	4500	4500	600	500	430	380	350	320	290
60	4500	4140	540	430	370	320	280	250	230	210	190

Машина НКМЗ 50х3500

22-32	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
36	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	2800
40	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	2380	460	410
46	3500	3500	3500	3500	3500	2440	2450	390	340	310	290
50	3500	3500	3500	3500	2120	410	350	310	280	260	240
60	3500	2660	430	340	290	250	230	200	190	170	160

Продолжение приложения 5

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

Машина НКМЗ 35х2650

8-24	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650
25	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650
28	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	1860	360	320
30	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2130	1610	320	290	260
32	2650	2650	2650	2650	2650	2000	350	300	270	240	220
36	2650	2650	2650	1950	330	280	250	220	200	190	170
40	2650	2650	1660	300	250	220	190	170	160	150	130
46	1990	300	240	210	180	150	140	130	120	110	100
50	306	240	190	170	140	130	110	100	-	-	-
60	180	150	120	105	100	-	-	-	-	-	-

Машина УВРК 40х3200

8-25	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
28	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	-	-	-
30	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	-	-	-	-
32	3200	3200	3200	3200	3200	3200	-	-	-	-	-
36	3200	3200	3200	3200	-	-	-	-	-	-	-
40	3200	3200	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Машина УВРК 50х4500

14-32	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
36	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	-	-	-
40	4500	4500	4500	4500	4500	4500	-	-	-	-	-
46	4500	4500	4500	-	-	-	-	-	-	-	-
50	4500	4500	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Пример определения возможности правки стали  
на листопрямительной машине без опорных роликов

Нужно определить максимальную ширину листа толщиной 30 мм из стали 09Г2С при  $\sigma_r = 300$  МПа и  $E_f = 2500$  МПа, который можно править на машине типа "Бенни" 26х3100.

1. Устанавливаем радиусы изгиба заготовки при правке в листопрямительной машине по формуле для заготовок по паспорту машины и намеченной к правке

$$\rho_0 = \frac{440^2 + 4 \cdot 11,3^2}{16 \cdot 11,3} = 1070, \quad \rho = \frac{440^2 + 4 \cdot 9,0^2}{16 \cdot 9,0} = 1295,$$

где  $t = 440$  мм,  $h_0 = 11,3$ ,  $h = 9,0$  (из настройки машины).

2. Определяем максимальную ширину листа, который можно выправить на машине "Бенни" 26х3100 по формуле

$$b_{\text{макс}} = 3475 - \sqrt{3475^2 - \frac{250 \cdot 26^2}{300 \cdot 30^2} (2 \cdot 3475 - 3100) \cdot 3100} = 3475 - 1905 = 1570,$$

где параметры машины следующие:

$$b_0 = 3100 \text{ мм}, \quad \delta_0 = 26 \text{ мм}, \quad \sigma_r^0 = 250 \text{ МПа}, \quad E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа},$$

$b_f = 3475$ , машина без роликовых опор

$$m_0 = 1,69 \text{ (см. табл. 9) при } K_0 = \frac{\sigma_r^0 \rho_0}{E \delta_0} = \frac{250 \cdot 1070}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 26} = 0,0489$$

$$\text{и } E_f = 4500 \text{ МПа};$$

$$m = 1,56 \text{ (см. табл. 9) при } K = \frac{\sigma_r \rho}{E \delta} = \frac{300 \cdot 1295}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 30} = 0,0641$$

$$\text{и } E_f = 2500 \text{ МПа.}$$

3. Минимальная толщина листа, который можно править машиной "Бенни" из условия геометрии машины, будет равна 11 мм (см. приложение 4).

Следовательно, на машине "Бенни" можно править листы шириной 1570 мм при толщине 30 мм и  $\sigma_r = 300$  МПа, при этом смятие валков не будет происходить и качество правки будет хорошее (ввиду достаточной проработки пластическими деформациями).



Пример определения возможности правки стали на листопрямительной машине с опорными роликами

Нужно определить максимальную ширину листа толщиной 40 мм из стали высокой прочности 12ХГН2МФБАД при  $G_r = 1000$  МПа и  $E = 2500$  МПа, который можно править на машине "Фудзи Шарё" 40х3200.

Порядок определения возможности правки стали 12ХГН2МФБАД (ВС-2) следующий:

1. Устанавливаем радиусы изгиба заготовки при правке в листопрямительной машине по формуле. Так как  $\delta_0 = \delta' = 40$  мм, то

$$\rho_0 = \rho = \frac{440^2 + 4 \cdot 26^2}{16 \cdot 26} = 470 \text{ мм,}$$

где  $t = 440$  мм,  $h = h_0 = 26$  мм (из настройки машины).

2. Определяем максимальную ширину листа, которую можно выправить на машине "Фудзи Шарё" 40х3200 по формуле

$$b_{\text{макс}} = \frac{3200 \cdot 1,99 \cdot 400}{1,59 \cdot 40^2 \cdot 1000} = x N^2 = 1600 \cdot N^2,$$

где параметры машины следующие:

$b_0 = 3200$  мм,  $\delta_0 = 40$  мм,  $G_r = 400$  МПа, количество роликовых опор - 2;  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа

$$m_0 = 1,99 \text{ (см.табл.) при } \kappa^0 = \frac{G_r \cdot \rho_0}{E \cdot \delta_0} = \frac{400 \cdot 470}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 40} = 0,022$$

и  $E_1 = 4500$  МПа;

$$m = 1,59 \text{ (см.табл.) при } \kappa = \frac{G_r \cdot \rho}{E \cdot \delta} = \frac{1000 \cdot 470}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 40} = 0,056$$

и  $E_1 = 2500$  МПа.

Далее определяем  $b_{\text{макс}}$  в зависимости от  $N$  методом последовательных приближений:

$$1) \frac{b}{b_0} = \frac{1600}{3200} = 0,5 \text{ по табл. (при 2-х роликовых опорах)}$$

$$N = 0,7, \text{ а } N^2 = 0,7^2 = 0,49;$$

$$b'_{\text{макс}} = 1600 \times 0,49 = 784 \text{ мм, тогда}$$

$$2) \frac{b'}{b_0} = \frac{784}{3200} = 0,245; \quad N = 0,457; \quad N^2 = 0,209;$$

$$b''_{\text{макс}} = 1600 \times 0,209 = 334 \text{ мм}$$

$$3) \frac{b''}{b_0} = \frac{334}{3200} = 0,104; \quad N = 0,382; \quad N^2 = 0,146$$

$$b_{\text{макс}}''' = 1600 \times 0,146 = 234 \text{ мм}$$

$$4) \frac{b'''}{b_0} = \frac{234}{3200} = 0,073; \quad N = 0,369; \quad N^2 = 0,136$$

$$b_{\text{макс}}^{IV} = 1600 \times 0,136 = 217 \text{ мм}$$

$$5) \frac{b^{IV}}{b_0} = \frac{217}{3200} = 0,0678; \quad N = 0,367; \quad N^2 = 0,134;$$

$$b_{\text{макс}}^V = 1600 \times 0,134 = 214 \text{ мм}$$

$$6) \frac{b^V}{b_0} = \frac{214}{3200} = 0,0668; \quad N = 0,367; \quad N^2 = 0,134;$$

$$b_{\text{макс}}^VI = 1600 \times 0,134 = 214 \text{ мм}$$

Следовательно,  $b_{\text{макс}} = 214 \text{ мм}$ .

3. Минимальная же толщина листа, которую можно править машиной "Фудзи Шарё" 40х3200 из условия геометрии машины будет равна 15 мм (см. приложение ).

Следовательно, на машине "Фудзи Шарё" 40х3200 можно править листы шириной до 214 мм при толщине листа 40 мм и  $G_r = 1000 \text{ МПа}$ , при этом смятие валков не будет происходить и качество правки будет хорошее (ввиду достаточной проработки пластическими деформациями).

## Приложение 7

Термическая правка поясов балок с помощью автомата АТПГ-2М (разработчик и изготовитель - ЦНИИС Минтрансстроя)

Принцип работы автомата (рис.1).

Прижимная рамка прижимается к нижнему свесу выправляемого пояса балки таким образом, что два опорных колеса рамки образуют базу, относительно которой подпружиненный шток щупового устройства измеряет удвоенную грибовидность  $\beta$ . Шток связан с реостатом, регулирующим с помощью системы управления скорость движения автомата. Большей грибовидности соответствует меньшая скорость автомата. Зависимость изменения скорости от величины грибовидности принята линейной. Возможна также и частичная

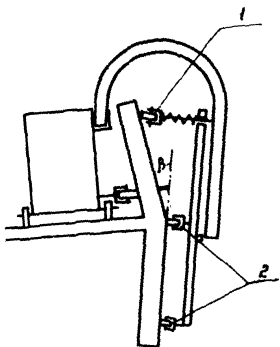


Рис. 1

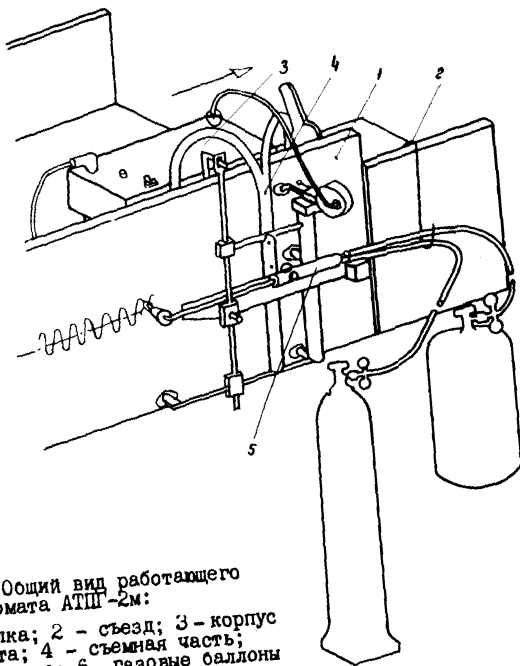


Рис.2. Общий вид работающего автомата АТЩ-2м:  
 1 - балка; 2 - съезд; 3 - корпус автомата; 4 - съемная часть;  
 5 - горелка; 6 - газовые баллоны

правка перекоса поясов одновременно с грибовидностью за счет смещения полосы нагрева в поперечном направлении (относительно оси пояса).

Основные механические данные и характеристики (рис.2)

**А. Характеристика выправляемой балки:**

тип балки	двутавровые; допускаются Н-образные и тавровые элементы
положение стенки	горизонтальное
поперечные ребра жесткости	отсутствуют
переменные ширины и толщины пояса по длине балки	допускается
упоры, приваренные к выправляемому поясу	не допускаются
монтажные отверстия на поясе	допускаются
толщина пояса, мм	12 и более
ширина пояса, мм	400-800
длина пояса	не ограничивается
максимальная величина грибовидности	практически не ограничивается
минимальная ширина стенки балки, мм	400
стыковые соединения пояса или стенки	допускаются
класс стали	не ограничивается

**Б. Характеристики автомата:**

масса двух разъемных частей в сумме, кг	25
высота, мм	530
ширина, мм	470
длина, мм	450
питание электропривода перемещения	36 В
скорость правки, см/мин.	30-70
тип горелки, используемый в автомате	пропан-бутановая (типа ГЗУ-2-62П с наконечником № 7) или ацетилено-кислородная максимальной мощности

расстояние сопла горелки от нагреваемой поверхности, мм	25 ± 5
амплитуда поперечных перемещений горелки, мм	0-60
направление рабочего перемещения автомата	в одну сторону

#### Подготовка автомата к работе

Корпус автомата устанавливается на горизонтальную стенку балки вплотную к внутренней поверхности выправляемого пояса, после чего присоединяется съемная часть и горелка.

Настройка режима правки для сталей марок I5XCHД и IOXCHД осуществляется рукоятками на панели автомата в соответствии с таблицей (для других марок сталей режимы следует подбирать опытным путем).

Т а б л и ц а I

Толщина выправляемого пояса, мм	Положение I рукоятки деления	Положение II рукоятки деления
12	7	0
16	7	0
20	15	0
25	7	0

Съезд монтируется вплотную к концевому участку балки.

#### Порядок работы с автоматом

В процессе работы оператор обязан визуально контролировать температуру нагрева поверхности металла, которая не должна превышать 700 - 900°C. Перегрев возможен из-за механических помех движению автомата или слишком большой величине грибовидности, для чего необходимо либо устранить помехи, либо уменьшить величину показаний грибовидности на шкале шупа.

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

1. Основные положения .....	3
2. Общие указания .....	5
3. Холодная правка. Правка изгибом листового проката на листопрямильных вальцах .....	8
4. Термическая правка. Правка листового проката .....	17
5. Правка грибовидности и перекося полок .....	25
6. Правка продольного изгиба .....	26
7. Правка хлопунгов .....	30
8. Правка прочих видов деформаций .....	36
Приложения	
1. Характеристика газопламенных горелок .....	38
2. Устройство для контроля температуры нагрева в основные показатели термопар .....	39
3. Листопрямильные машины с параллельными рядами валков .....	43
4. Зависимости радиуса изгиба ( $R$ ) от радиуса исходной кривизны ( $R_0$ ) для стали .....	45
5. Предельные значения ширины и толщины листов, выправляемых различными машинами .....	66
6. Пример определения возможности правки стали на листопрямильной машине .....	71
7. Термическая правка поясов балок с помощью автомата АТПГ-2М (разработчик и изготовитель - ЦНИИС Минтрансстрой) .....	73

Ответственный за выпуск В.В.Волков

Техн. редактор Л.А.Пыжова

Л-19572. Подписано в печать 27/XI-81 г. Формат 60x84/16,  
Объем 4,75 п.л. Тираж 150 экз. Цена 80 коп. Заказ № 112

---

Отпечатано на ротапринте ЦНИИпроект