



## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РОЛИКОВОГО ПОЛЯ ЛИНИЙ СБОРКИ И СВАРКИ ТОНКОЛИСТОВЫХ ПОЛОТНИЩ

**В. А. РОЯНОВ**, д-р техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь),  
**П. В. КОРОСТАШЕВСКИЙ**, инж. (ОАО «ГСКТИ», г. Мариуполь)

Выявлена зависимость прогиба кромок тонколистовых полотнищ при транспортировке по роликовому полю от вылета свободно свисающей кромки, расстояния между смежными рядами роликов, свойств материала и толщины листов. Разработаны схемы выбора шага роликов и расстояния между смежными рядами роликов роликового поля для транспортировки полотнищ из листов разной толщины и различных материалов.

*Ключевые слова:* сварка, роликовое поле, линия сборки и сварки, тонколистовое полотнище

Сборка и сварка тонколистовых полотнищ обещают различных емкостей, в том числе котлов железнодорожных вагонов-цистерн и контейнеров-цистерн, осуществляется на поточно-механизированных линиях сборки и сварки полотнищ, одним из важных элементов которых является роликовое поле. От основных параметров роликового поля (диаметра роликов, типа подшипников, шага роликов, расстояния между смежными рядами роликов) зависят плавность перемещения полотнищ, мощность приводов транспортирующих устройств и производительность линии в целом. В то же время размеры и количество роликов влияют на массу и стоимость оборудования. При определении основных параметров роликовых полей линий полотнищ выбор остается за подшипниками качения в силу их общеизвестных преимуществ. Критерии выбора остальных параметров роликового поля практически отсутствуют. Их разработка является важной научной и практической задачей.

В публикациях, посвященных этой проблеме [1–6], особое внимание уделено выбору шага роликов рольгангов для транспортировки длинномерных грузов и тонколистового горячего проката. Транспортировка тонколистовых полотнищ обещает крупногабаритных емкостей, ширина которых в 2...3 раза превышает максимальную ширину прокатываемых листов так же, как и конструкция соответствующих роликовых полей, имеют свои особенности, практически не отраженные в технической литературе. Одна из них — значительный прогиб (свисание) кромок тонколистового полотнища, транспортируемого в холодном состоянии, под действием собственного веса, особенно первой по ходу движения лобовой кромки, препятствующей нормальному заходу полотнища на ролики при его перемещении и тран-

спортировке. На прогиб кромок оказывает влияние материал листов полотнища и параметры роликового поля.

В настоящей работе приведены результаты исследований зависимости прогиба кромок тонколистовых полотнищ от различных параметров роликового поля и свариваемых листов, а также разработаны критерии и методики выбора основных параметров роликовых полей линий сборки и сварки тонколистовых полотнищ, обеспечивающих нормальную работу, оптимальную металлоемкость и стоимость оборудования.

С целью снижения металлоемкости и стоимости оборудования для роликовых полей применяются неприводные дисковые ролики со сферической поверхностью катания, установленные в шахматном порядке. Неприводные рольганговые ролики устанавливаются в местах прижима полотнища к стенду для увеличения поверхности контакта и недопущения вмятин на листах. Диаметр роликов составляет от 100 до 360 мм (чем он больше, тем меньше сопротивление перемещению полотнищ), в качестве подшипников используются шариковые или роликовые подшипники качения. Перемещение полотнищ на различных участках линий сборки осуществляется при помощи специальных толкающих (тянущих) устройств и отдельных блоков приводных роликов в их различных сочетаниях.

При перемещении тонколистового полотнища по роликовому полю с шагом роликов  $S$  лобовая кромка полотнища шириной  $b$  по мере схода с роликов, отклоняясь вниз от общей плоскости транспортировки, под действием собственного веса образует прогиб  $f_c$  (рис. 1, а). Боковые кромки полотнища прогибаются при этом на  $f_c'$ , а часть полотнища, расположенная между рядами роликов, — на  $f_n$  (рис. 2, а); в местах установки рольганговых роликов прогибы  $f_c'$  и  $f_n$  отсутствуют.

На примере лобовой кромки определим прогиб свисающих при транспортировке кромок полот-

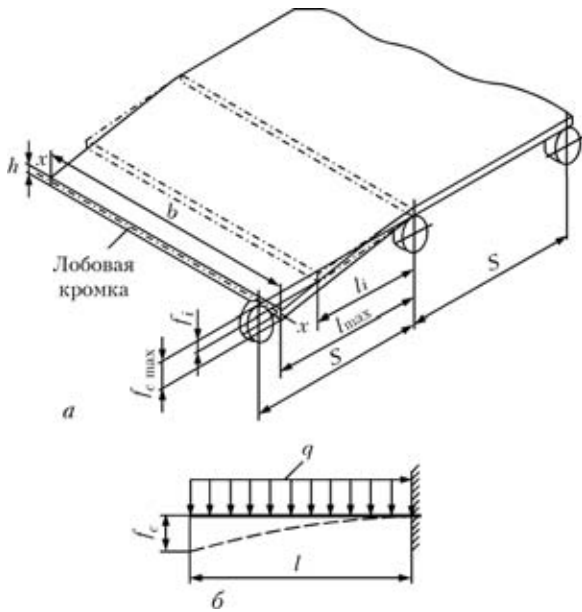


Рис. 1. Схема положений консольно свисающей лобовой кромки тонколистового полотна (а) и расчетная схема определения прогиба кромки (б)

нища. Для этого свисающую лобовую кромку полотна представим в виде балки с защемленным одним концом, находящейся под равномерно распределенной нагрузкой — собственным весом. Расчетная схема такой балки приведена на рис. 1, б, при этом вылет полотна  $l$  является функцией времени  $t$  и скорости перемещения  $v$ :  $l = vt$ . При перемещении полотна от ролика к ролику с изменением времени  $t$  от нуля до  $t_{\max}$  вылет меняется от нуля до  $l_{\max}$ , а прогиб лобовой кромки — от нуля до  $f_{c \max}$ . С учетом того, что скорость перемещения полотна равномерна и относительно мала (менее 0,2 м/с), формула прогиба лобовой кромки в любой момент времени, исходя из дифференциального уравнения изогнутой оси [7], примет вид

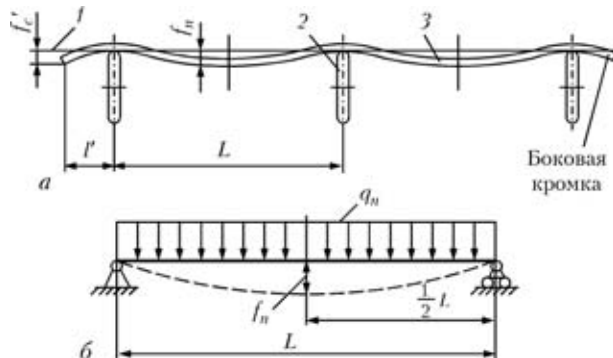


Рис. 2. Прогибы тонколистового полотна при перемещении по роликовому полю: а — схема прогибов; б — расчетная схема прогиба между двумя смежными рядами роликов;  $l'$  — общая плоскость транспортировки; 2 — ролик; 3 — тонколистовое полотно;  $L$  — расстояние между смежными рядами роликов;  $l'$  — вылет боковой кромки полотна;  $f_c'$  — прогиб свисающей боковой кромки;  $f_n$  — прогиб части полотна между роликами;  $q_n$  — равномерно распределенная нагрузка при провисании полотна

$$f_c = \frac{q(vt)^4}{8EI_x} = \frac{ql^4}{8EI_x}, \quad (1)$$

где  $q$  — равномерно распределенная нагрузка (в данном случае вес свисающей кромки полотна, условно приведенный к оси балки и равномерно распределенный по длине вылета  $l$ );  $E$  — модуль нормальной упругости;  $I_x$  — момент инерции сечения относительно оси изгиба.

Вес полотна в любой момент времени с учетом малого значения скорости перемещения составляет

$$G_n = \gamma hb(vt) = \gamma hbl, \quad (2)$$

где  $\gamma$  — удельный вес материала листов полотна;  $h$  — толщина свисающей кромки;  $b$  — длина листа (ширина полотна).

Тогда равномерно распределенная нагрузка определяется как

$$q = \frac{G_n}{l} = \gamma hb. \quad (3)$$

Момент инерции сечения относительно оси изгиба составляет

$$I_x = \frac{bh^3}{12}. \quad (4)$$

Подставив полученные значения в (1), получим

$$f_c = \frac{ql^4}{8EI_x} = \frac{\gamma hbl^4}{8E \frac{bh^3}{12}} = \frac{3\gamma}{2Eh^2} l^4. \quad (5)$$

Из (5) видно, что прогиб  $f_c$  свисающей под действием собственного веса лобовой кромки полотна прямо пропорционален четвертой степени вылета, зависит от удельного веса и материала листов и обратно пропорционален квадрату толщины свисающей кромки листа полотна. Обозначив величину  $\frac{3\gamma}{2Eh^2}$ , постоянную для листов из конкретного материала и конкретной толщины, как  $K_{Т.М}$  — коэффициент толщины и материала, получим формулу прогиба лобовой кромки в виде

$$f_c = K_{Т.М} l^4. \quad (6)$$

Полотнища обечаек котлов железнодорожных вагонов-цистерн и контейнеров-цистерн изготавливают из конструкционных низколегированных сталей 09Г2С, коррозионностойких сталей 12Х18Н10Т и алюминия АД0 толщиной 4...26 мм. Значения  $K_{Т.М}$  для листов толщиной 4...26 мм из указанных материалов приведены в табл. 1. Для расчета прогиба  $f_c$  используем диа-



**Таблица 1. Значения коэффициента  $K_{Т,М} \cdot 10^{-17}$  ( $1/м^3$ ) для листов разной толщины из различных материалов**

Толщина листа $h \cdot 10^{-3}$ , м	Сталь 09Г2С ( $E = 200$ ГПа, $\gamma = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup> )	Сталь 12Х18Н10Т ( $E = 198$ ГПа, $\gamma = 7,90 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup> )	Алюминий АД0 ( $E = 81$ ГПа, $\gamma = 2,70 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup> )
4	3680	3741	3125
5	2355	2394	2000
6	1635	1662	1389
7	1202	1221	1020
8	920	935	781
9	727	739	617
10	589	598	500
11	487	495	413
12	409	416	347
14	300	305	255
16	230	234	195
18	182	185	154
20	147	150	125
22	122	124	103
24	102	104	87
25	94	96	80
26	87	89	74

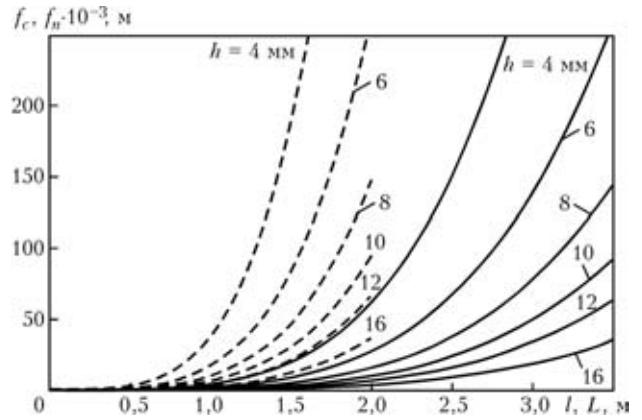


Рис. 3. Зависимость прогиба лобовой кромки  $f_c$  (штриховые) и провисания  $f_n$  (сплошные кривые) полотнища из листов стали 12Х18Н10Т различной толщины  $h$  от вылета  $l$  и расстояния между смежными рядами роликов  $L$

Применив коэффициент толщины и материала  $K_{Т,МL} = 5\gamma/32Eh^2$ , получим

$$f_n = K_{Т,МL} L^4. \tag{9}$$

Зависимость провисания полотнищ от расстояния между смежными рядами роликов для листов из стали 12Х18Н10Т различной толщины показана на рис. 3.

Прогиб кромки полотнища при прохождении его по роликовому полю предопределяет положение точки контакта грани лобовой кромки с роликом (рис. 4, а). Возможность плавного захода кромки полотнища на ролик при этом определяется положением линии действия, возникающей в точке контакта реакции от усилия перемещения, которая проходит в плоскости, перпендикулярной торцу прогнувшейся кромки по касательной к ней. При прохождении ее ниже оси вращения ролика полотнище уходит под ролик, а выше — поднимается на ролик. Для беспрепятственного захода полотнища на ролик линия действия сил должна проходить по касательной к диаметру цапфы (внутреннему диаметру подшипника) ролика выше его оси вращения (рис. 4, а), при этом ее положение зависит от прогиба лобовой кромки полотнища и угла поворота сечения (плоскости торца) кромки, благодаря которым обеспечивается это условие. Значения указанных параметров являются определенными для каждого типоразмера роликов, имеющих конкретные наружный диаметр и диаметр цапфы. Следует отметить, что устанавливаемые между роликами в роликовых конвейерах (рольгангах) для предотвращения излишнего провисания транспортируемого груза промежуточные настилы в данном случае для этих целей неприемлемы, поскольку при контакте с настилом при перемещении полотнища портится грань лобовой кромки, подготовленной к сварке.

Для определения максимального допустимого прогиба лобовой кромки полотнища при прохождении его по роликовому полю рассмотрим схему,

пазон длины вылетов полотнищ от нуля до 2000 мм с интервалом 100 мм.

Анализ данных табл. 1 показал, что наиболее жестким, т. е. имеющим минимальный прогиб при одинаковой толщине листа и вылете, из трех исследуемых материалов является алюминий АД0, а наименее жестким — сталь 12Х18Н10Т. Зависимость прогиба от вылетов полотнищ для листов из стали 12Х18Н10Т различной толщины показана на рис. 3.

Прогиб боковых кромок  $f_c'$  изменяется по таким же зависимостям, как и прогиб лобовой кромки  $f_c$ . Для определения прогиба (провисания) части полотнища между двумя смежными роликами (рядами роликов)  $f_n$  (рис. 2, а) рассмотрим ее как лежащую на двух опорах балку, которая находится под равномерной сплошной нагрузкой — собственным весом. Расчетная схема балки приведена на рис. 2, б. Исходя из дифференциального уравнения изогнутой оси [7] максимальный прогиб балки расположен посередине пролета и равен

$$f = \frac{5q_n L^4}{384EI_y}, \tag{7}$$

где  $I_y$  — момент инерции сечения. Сделав такие же преобразования, как и для (1), получим

$$f_n = \frac{5\gamma}{384E} L^4. \tag{8}$$

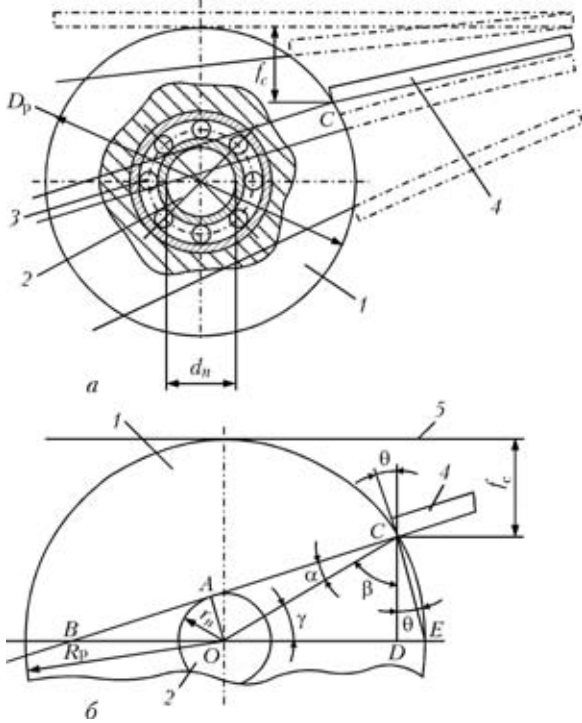


Рис. 4. Схема положения лобовой кромки полотна при контакте с роликом при различных прогибах: *a, б* — см. в тексте; 1 — диск ролика; 2 — цапфа (ось) ролика; 3 — подшипник; 4 — лобовая кромка транспортируемого полотна; 5 — плоскость транспортировки полотна; *C* — точка контакта нижней грани лобовой кромки полотна с диском ролика;  $D_p$  — диаметр диска ролика;  $d_n$  — диаметр цапфы ролика

Таблица 2. Значения коэффициента  $K_\theta \cdot 10^{-17}$  (град/м<sup>3</sup>) для листов из различных материалов различной толщины

Толщина листа $h \cdot 10^{-3}$ , м	Сталь 09Г2С ( $E = 200$ ГПа, $\gamma = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup> )	Сталь 12Х18Н10Т ( $E = 198$ ГПа, $\gamma = 7,90 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup> )	Алюминий АД0 ( $E = 81$ ГПа, $\gamma = 2,70 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup> )
4	281108	285756	238733
5	179909	182884	152789
6	124937	127003	106103
7	91790	93308	77954
8	70277	71439	59683
9	55527	56446	47157
10	44977	45721	38197
11	37171	37786	31568
12	31234	31751	26526
14	22948	23327	19488
16	17569	17860	14921
18	13882	14111	11789
20	11244	11430	9549
22	9293	9446	7892
24	7809	7938	6631
25	7196	7315	6112
26	6653	6763	5650

представленную на рис. 4, б. Искомый прогиб  $f_c$  равен разности радиуса поверхности катания ролика и отрезка  $CD$ . Треугольники  $CDE$ ,  $CDO$ ,  $ACO$  и  $CBE$  являются прямоугольными, при этом угол  $DCE$  равен углу поворота сечения (кромки)  $\theta$ , отрезок  $OA$  — радиусу цапфы ролика  $r_n$ ,  $OC$  — радиусу поверхности катания ролика  $R_p$ . Вычисляем прогиб:

$$f_c = R_p - R_p \sin \psi = R_p (1 - \sin \psi) = 2R_p \sin^2(45^\circ - \psi/2);$$

$$\psi = 90^\circ - \beta = 90^\circ - (90^\circ - \alpha - \theta) = \alpha + \theta; \quad (10)$$

$$f_c = D_p \sin^2 \left( 45^\circ - \frac{\alpha + \theta}{2} \right),$$

при этом угол  $\alpha = \arcsin(r_n/R_p)$  и является постоянным для каждого ролика.

Формулу угла поворота сечения берем из дифференциального уравнения изогнутой оси балки с защемленным одним концом, находящейся под равномерной нагрузкой (собственным весом) [7]:

$$\theta = \frac{ql^3}{6EI_x} \quad (11)$$

Преобразуя это выражение аналогично (1), получим

$$\theta = K_\theta l^3, \quad (12)$$

где  $K_\theta$  — коэффициент угла поворота сечения, равный  $2\gamma/Eh^2$ .

Значение коэффициента  $K_\theta$  для листов из сталей 09Г2С, 12Х18Н10Т и алюминия АД0 толщины 4...26 мм приведены в табл. 2. Анализ данных таблицы показал, что при одинаковой толщине максимальный угол поворота сечения имеют листы из стали 12Х18Н10Т, минимальный — из алюминия АД0. Это подтверждает вывод об относительной жесткости листов из этих материалов, сделанный на основе данных табл. 1.

Подставив в формулу (10) значение угла  $\theta$  и заменив значение прогиба  $f_c$  на его значение, полученное из формулы (6), имеем

$$K_{T.M} l^4 = D_p \sin^2 \left( 45^\circ - \frac{\alpha + K_\theta l^3}{2} \right). \quad (13)$$

Условно заменив  $l$  на  $x$ , обозначив  $D_p/K_{T.M}$  как  $K$  и преобразовав это уравнение, имеем

$$x^2 - \sqrt{K} \sin \left( 45^\circ - \frac{\alpha + K_\theta x^3}{2} \right) = 0. \quad (14)$$

Графически решив это уравнение, получим две функции:  $y_1 = x^2$  и  $y_2 = \sqrt{K} \sin \left( 45^\circ - \frac{\alpha + K_\theta x^3}{2} \right)$ . Точка пересечения полученных кривых дает нам значе-

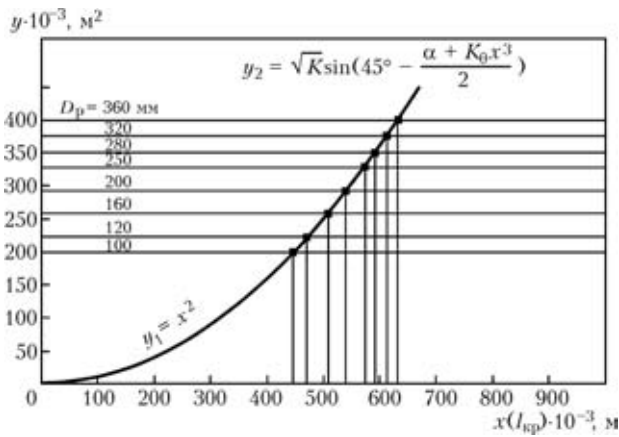


Рис. 5. Схема определения критических вылетов  $l_{кр}$  для листа из стали 12X18H10T толщиной 8 мм и роликов различных диаметров

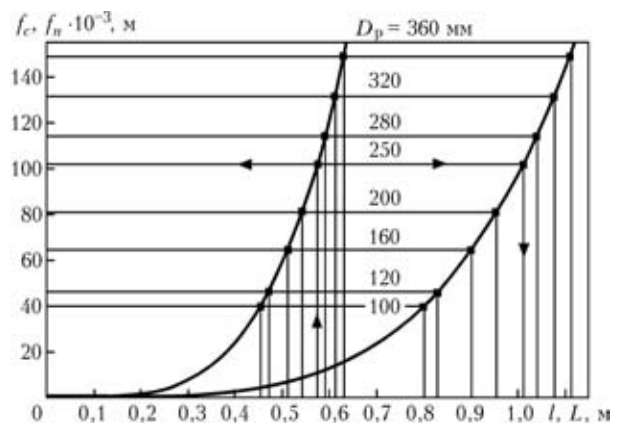


Рис. 6. Схема определения критических прогибов  $f_{кр}$  и расстояния  $L_{кр}$  между смежными рядами роликов различного диаметра для листа из стали 12X18H10T толщиной 8 мм

ние вылета полотнища, при котором лобовая кромка при контакте с роликом имеет прогиб  $f_c$ , т. е. имеет максимально допустимый свес для плавного захода на ролик. При этом линия действия сил в точке контакта полотнища с роликом проходит в плоскости, перпендикулярной торцу кромки по касательной к диаметру цапфы (рис. 4). Обозначим этот прогиб как критический  $f_{кр}$ , а длину вылета полотнища, при которой он происходит, как  $L_{кр}$ . Первая функция (парабола) будет одинаковой для всех роликов и листов применяемых материалов различной толщины, а вторая будет иметь свою кривую для каждого из этих параметров. Построение кривых (рис. 5) выполним для листа толщиной 8 мм из наиболее жесткого материала — стали 12X18H10T для роликов, имеющих оптимальный (25 до 60 мм) диаметр цапфы и дисков с диаметром по кругу катания от 100 до 360 мм. Имея значения критических вылетов  $L_{кр}$  и используя зависимости прогибов кромки полотнища от ее вылета, получаем значения критических прогибов (свесов) лобовой кромки полотнища (рис. 6). Поскольку ситуация, представленная на рис. 4, одинакова как при заходе на ролик консольно свисающей лобовой кромки полотнища, так и при ее прогибе между двумя рядами роликов при расположении роликов в шахматном порядке, используя значения критических прогибов по кривым  $f_n$  определим также критические (максимальные) расстояния  $L_{кр}$  между двумя смежными рядами роликов (рис. 6).

Зная значения критических вылетов, находим максимальный шаг роликов  $S_{max}$  роликового поля, равный критическому вылету плюс отрезок  $OD$  из треугольника  $CDO$  (см. рис. 4, б):

$$S_{max} = L_{кр} + R_p \cos \left( \arcsin \frac{R_p - f_c}{R_p} \right), \quad (15)$$

где  $f_c = f_{кр}$ .

Модернизация роликового поля линий сборки и сварки тонколистовых полотнищ ОАО «Азов-маш» с учетом представленных исследований позволила улучшить качество сварных швов полотнищ, при этом количество брака снизилось.

Проводятся дальнейшие исследования по определению сил дополнительного сопротивления перемещению тонколистовых полотнищ по роликовому полю, возникающих при заходе свисающей кромки на ролик, для определения мощности транспортирующих устройств.

### Выводы

1. Главным критерием для определения параметров роликового поля для транспортировки тонколистовых полотнищ является наличие гарантированного захода на ролики свисающих (провисающих) под действием собственного веса при перемещении полотнища кромки, в первую очередь лобовой кромки.

2. Прогиб консольно свисающей или провисающей между роликами под действием собственного веса кромки полотнища прямо пропорционален четвертой степени вылета (расстояние между двумя смежными рядами роликов), зависит от материала (удельного веса и модуля нормальной упругости) и обратно пропорционален квадрату толщины листа.

3. Для выбора параметров роликовых полей необходимо получение зависимости прогибов кромок полотнищ от вылета и расстояния между смежными рядами роликов, а также построение графиков для определения максимальных прогибов и вылетов для листов из всех используемых материалов различной толщины.

4. Конкретный выбор параметров роликового поля следует осуществлять, определив материал и толщину листов изготавливаемых полотнищ и задавшись диаметром роликов (с учетом диаметра цапфы) по таблицам значений максимально до-



пустимых шагов и расстояний между смежными рядами роликов, которые должны быть разработаны для всех листов применяемых материалов различной толщины.

5. Выбор шага роликов и расстояния между смежными рядами необходимо осуществлять с учетом диаметров роликов, их расстановки по роликовому полю, количества, массы, стоимости, а также иных данных.

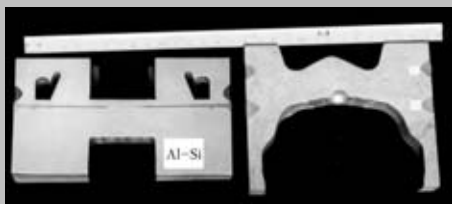
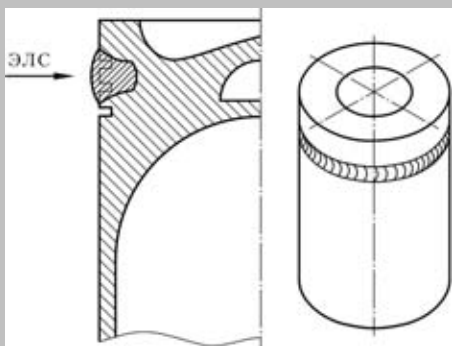
1. *Ивановский К. Е., Раковщик А. Н., Цоглин А. Н.* Роликовые и дисковые конвейеры и устройства. — М.: Машиностроение, 1973. — 216 с.

Dependence of bending deflection of thin-sheet panel ends in transportation over the roller field on the extension of a free hanging end, distance between the neighbouring rows of rollers, material properties and sheet thickness was established. Schemes were developed for selection of a roller pitch and distance between the neighbouring rows of the rollers for transportation of panels of the sheets of different thickness and different materials over the rollers.

2. *Плавинский В. И.* Машины непрерывного транспорта. — М.: Машиностроение, 1969. — 720 с.
3. *Зенков Р. Л., Ивашиков И. И., Колобов Л. Н.* Машины непрерывного транспорта. — М.: Машиностроение, 1987. — 432 с.
4. *Спиваковский А. О., Дьячков В. А.* Транспортирующие машины. — М.: Машиностроение, 1983. — 487 с.
5. *Кружков В. А.* Металлургические подъемно-транспортные машины. — М.: Metallurgy, 1989. — 464 с.
6. *ГОСТ 5332-75.* Ролики и шаги рольгангов прокатных станов. — М.: Изд-во стандартов, 1975. — 12 с.
7. *Беляев Н. М.* Соппротивление материалов. — М.: Наука, 1976. — 608 с.

Поступила в редакцию 20.11.2006

## ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙ НАПЛАВКИ С ПРИСАДОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ ЗОНЫ КОМПРЕССИОННЫХ КАНАВОК АЛЮМИНИЕВЫХ ПОРШНЕЙ



*В настоящее время усовершенствование двигателей внутреннего сгорания, в частности, дизелей, идет в направлении повышения их мощности, снижения металлоемкости и увеличения долговечности. В этой связи особое значение приобретают проблемы увеличения срока службы поршней, поскольку с повышением мощности двигателей существенно возрастают тепловые и динамические нагрузки на поршень.*

*Для повышения износостойкости и срока эксплуатации алюминиевых поршней разработана технология износостойкой упрочняющей наплавки поршней в зоне верхней компрессионной канавки с использованием легирующих присадок и высококонцентрированного нагрева электронным пучком.*

*Применение легирующего материала дает возможность получить необходимую твердость зоны упрочнения в пределах HB 150... 180. Горячая твердость упрочненного слоя в интервале температур 100...360°С в 2-3 раза выше*

*по сравнению с основным металлом поршня.*

*Разработанная технология упрочнения поршней позволяет отказаться от нерезиновой вставки и повысить моторесурс поршневой группы двигателей в 1,5-2 раза.*

**Контакты:** Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины  
03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11, отд. № 7  
Тел.: (38044) 287 44 06  
Факс: (38044) 287 12 83; 287 46 30