

УДК 621.981.1

Филимонов В.И., Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Филимонов С.В.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА В РОЛИКАХ  
ПОЛУЗАКРЫТЫХ ПРОФИЛЕЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЖЕСТКОСТИ  
ИЗ МАТЕРИАЛА С ПОКРЫТИЕМ

*На примере характерного профиля рассмотрен подход к проектированию и отработке схем формообразования полузакрытых профилей с элементами жесткости, с предотвращением кромковой волнистости элементов профиля и нарушений лакокрасочного покрытия. Приведены зависимости, характеризующие влияние факторов процесса на его протекание и качество профиля.*

В последние годы на рынке отечественных полуфабрикатов резко возрос спрос на профили с элементами жесткости [1], изготавливаемые из материалов с покрытием. Примером может служить полузакрытый профиль типа «стойка», применяемый в строительстве для декоративного обрамления ванн ванных комнат (рис. 1). Профиль содержит элементы двойной толщины на периферийных участках и конструктивный рифт в донной части.

Идентификация параметров исходного сечения профиля (см. рис. 1) представлена в табл. 1.

Заказчиком технологии предложены два варианта производства профиля: 1) формообразование профиля из материала 08кп без покрытия и его последующее декоративное покрытие; 2) формообразование профиля из лен-

ты с предварительно нанесенным покрытием. Требования к покрытию – отсутствие дефектов покрытия и его стойкость в течение срока эксплуатации. Из соображений снижения себестоимости второй вариант был указан в качестве предпочтительного.

Таблица 1

Параметры исходного профиля

<i>Параметр</i>	<i>Значение параметра, мм</i>	<i>Параметр</i>	<i>Значение параметра, мм</i>
С	37	г <sub>В</sub>	1,5 (на рис. 1 условно не показан)
b	7	s	0,5
g	12	a	3,7

Факторы, осложняющие процесс формообразования с позиций обеспечения надлежащего качества профиля:

1. Наличие лакокрасочного покрытия, чувствительного к приложению значительных контактных нагрузок;
2. Наличие зон с угламигиба  $180^\circ$  со значительными степенями деформации подложки и покрытия заготовки;
3. Наличие элементов жесткости, усложняющих схему формообразования и в ряде случаев имеющих склонность к потере устойчивости в виде излома.

Указанные факторы требуют решения ряда вопросов, составляющих **цель** данной работы: определение числа переходов, минимального радиусагиба у основания элемента двойной толщины, принятие мер, предупреждающих потерю устойчивости элементов профиля, оптимизация схем формообразования и формы технологического оснащения. Особенности технологии

могут быть обобщены и на производство других сходных типоразмеров профилей.

Для определения числа переходов использовали полуэмпирическую модель [2]:

$$N = F \cdot \left[ \sqrt{\frac{L_M}{C}} \cdot \frac{2 \cdot b \cdot (1 - \cos \alpha)}{L_M \cdot n} \cdot \left( \frac{R}{\sqrt{r_B \cdot s}} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

где  $F$  – функция формы;  $L_M$  – межклетьеовое расстояние профилегибочного станка, мм;  $b$  – ширина подгибаемой полки, мм;  $\alpha$  – суммарный угол подгибки боковых полок, град;  $C$  – ширина дна профиля, мм;  $R$  – средний радиусгиба, соответствующий 95% уровню охвата зоны сгиба пластическими деформациями, мм;  $r_B$  – внутренний радиус зоны сгиба, мм;  $s$  – толщина заготовки, мм;  $n$  – число зон сгиба профиля.

В формуле (1) первый сомножитель в квадратных скобках отражает влияние формы дна заготовки профиля, второй – степень «стеснения» заготовки, третий – жесткость угловой зоны. Функция формы  $F$  для С-образных профилей определяется соотношением:

$$F = 3,2 \cdot \sqrt{n} \cdot \frac{C + b \cdot \cos \alpha}{C + b \cdot \cos \alpha - g}, \quad (2)$$

где  $g$  – ширина горизонтальных полок профиля.

В формуле (2) коэффициент 3,2 получен калибровкой формулы (1) на массиве экспериментальных данных при сквозной прогонке модели по ширине полки.

Формула (1) разработана для профилей с гладкими полками, в связи с чем, в расчетах, относящихся к профилю с элементами жесткости, введены следующие процедуры предварительного определения параметров и условий:

1. Функцию формы определяли как для С-образного профиля с гладкими горизонтальными полками, уменьшенными на величину элемента двойной толщины;
2. Ширину подгибаемого элемента брали равным номинальному значению суммарной ширины подгибаемых полок;
3. Ввиду наличия рифта донную часть считали жесткой;
4. Межклетьевое расстояние принимали равным 400 мм – типовым для станков семейства ГПС разработки ОАО «Ульяновский НИАТ».

Выбор числа переходов в зависимости от параметров табл. 1 производили по рис. 2, выполненному с помощью прикладной программы MathCAD2001Pro. В соответствии с пп. 1 и 2 условий, приведенных выше, в расчетах были приняты модифицированные значения ширины горизонтальной и подгибаемой полок  $g_1$  и  $b_1$  соответственно.

По геометрическим параметрам профиля и числу переходов в качестве основного технологического оборудования был определен станок ГПС-300М6 разработки и производства ОАО «Ульяновский НИАТ».

Схемы формообразования профиля на предварительном и окончательном этапах разработки технологии представлены на рис. 3, а соответствующее им распределение углов подгибки элементов профиля по переходам, по-

лученное на основании модифицированной методики работы [2], сведено в табл. 2.

В предварительной схеме формообразования (рис. 3а) периферийные элементы подгибают в первых четырех переходах (включая нулевую пару роликов подающей клетки) по схеме  $40^{\circ}-90^{\circ}-160^{\circ}-235^{\circ}$  с максимальным углом подгибки за переход  $75^{\circ}$ ; рифт формируют во втором переходе. С целью снижения затрат на отработку технологии использовали заготовки без покрытия. При профилировании горизонтальные полки имели кромковую волнистость по выходу из калибра последнего перехода с режимом подгибки со  $140^{\circ}$  до  $180^{\circ}$ .

Таблица 2

Углы подгибки элементов профиля по переходам

Элемент профиля	<i>Углы подгибки элементов профиля в градусах</i>						
	Переход						
	0	1	2	3	4	5	6
<i>Предварительная схема формообразования</i>							
1	10	10	20	30	45	75	90
2	15	20	40	55	90	140	180
3	40	90	160	235	270	320	360
<i>Окончательная схема формообразования</i>							
1	10	20	30	45	75	80	90
2	20	40	55	90	140	175	180
3	90	160	235	270	320	350	360

В этой связи исходная схема формообразования была подвергнута пересмотру: нулевая пара была исключена, а перед окончательным переходом была введена дополнительно пара, «смягчающая» режим подгибки горизонтальной полки (рис. 3б, см. также табл. 2).

Для установления оптимального угла наклона горизонтальной полки в предчистовом переходе проводили экспериментальные исследования с постепенным изменением угла наклона образующей конуса ролика с шагом в 2 градуса и последующей формовкой заготовки.

Результаты исследования приведены на рис. 4, где по оси ординат указана амплитуда волны кромки; экспериментальные точки получены осреднением пяти замеров амплитуды волны. Отсюда видно, то оптимальным можно принять угол в диапазоне 5 – 7 градусов.

Этому обстоятельству можно дать следующее объяснение: при большом угле подгибки в области калибра заготовка и ее периферийные участки пребывают в пластическом состоянии. Контакт ролика с периферийным участком заготовки вызывает его продольное удлинение ввиду различия скорости движения заготовки и линейной скорости поверхности ролика (фактически, наличия «торможения»).

При этом величину продольной деформации кромки  $\epsilon_{\text{кв}}$  рассчитывают по формуле [3]:

$$\epsilon_{\text{кв}} = \ln\left(\frac{J}{a}\right) \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $a$  – период волны;  $J$  – длина синусоиды на ее периоде.

Длина синусоиды определяется в соответствии с зависимостью:

$$J = \frac{2 \cdot a}{\pi} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot A}{a}\right)^2} \cdot E\left(\frac{\pi}{2}, \rho\right), \quad (4)$$

где  $E(\pi/2, \rho)$  – эллиптический интеграл второго рода при  $0 < \rho^2 < 1$ .

В формуле (4) параметр  $\rho$  определяется соотношением:

$$p = \sqrt{\frac{2 \cdot A^2 \cdot \pi^2}{a^2 + 2 \cdot A^2 \cdot \pi^2}}.$$

Некомпенсированная деформация (приращение длины) периферийного участка приводит к возникновению кромковой волнистости по выходу профиля из калибра. При малой степени «догибки» происходит лишь изменение угла подгибки, а пластическое состояние характерно только для угловой зоны, но не для всей подгибаемой полки. Генеалогия кромковой волнистости и соответствующие расчеты потери устойчивости элементов профиля приведены в работе [3]. Выбор углов подгибки при проектировании технологической оснастки следует производить с учетом плавности траекторий движения точек заготовки, а также с учетом критериев потери устойчивости элементов профиля.

Измененная схем формообразования (рис. 3б, см. также табл. 2) позволила получить профиль без кромковой волнистости его горизонтальных полок. Профилирование заготовки с покрытием выявило нарушение последнего с наружной стороны зоны сгиба у основания элемента двойной толщины, что связано с практически нулевым радиусомгиба, а также наличием контакта зоны сгиба с инструментом. На внутренней грунтованной поверхности заготовки наблюдались микроскладки, хотя толщина покрытия не превышает 10 мкм. Угол подгибки ( $180^\circ$ ) периферийного элемента определяет в силу формулы Е.А. Попова внутренний относительный радиус [4]:

$$\frac{r_B}{s} = 0,5 \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \Rightarrow r_B \rightarrow 0.$$

В то же время минимально допустимый радиусгиба для материала подложки из стали 08кп составляет величину порядка 0,2 мм [5]. С другой стороны, покрытие заготовки (акрилсиликоновая эмаль АС-1171) по данным, например, ООО «Лакокраспокрытие» допускает изгиб заготовки на радиус, соизмеримый с толщиной подложки. В этой связи с заказчиком было согласовано выполнение бульбообразного утолщения основания элемента двойной толщины с радиусом 0,2 мм, поскольку данное преобразование конструкции профиля не вступает в противоречие с его функциональным назначением.

Для предотвращения контакта зоны сгиба элемента двойной толщины с буртом формующего ролика на первых переходах применяли калибры с дополнительными коническими участками (рис. 5в). Другие схемы замыкания калибров имеют определенные недостатки. Так, при вертикальном положении линии разъема калибра (рис. 5а) зона сгиба контактирует с боковой посадочной поверхностью нижнего ролика, а при горизонтальном ее положении (рис. 5б) происходит «закусывание» профиля в месте посадки.

На пятом и шестом переходах предусмотрены участки «высвобождения» (рис. 6а и 6б). При отработке технологии аналогичных профилей из-за наличия участков высвобождения иногда наблюдалось фланирование заготовки. В таком случае на верхнем ролике выполняют технологические уклоны (рис. 6в), которые также дают положительный эффект, хотя в этом случае



контакт заготовки и инструмента имеет место. Разумеется, поверхность уклонов должна быть не ниже 8 класса чистоты.

При проектировании оснастки линию равенства скоростей верхнего и нижнего формующих роликов следует располагать как можно ближе к элементу двойной толщины, однако, это пожелание является конкурирующим по отношению к обеспечению условия предотвращения кромковой волнистости. В процессах многопереходной гибки, в отличие от практикуемого нами метода интенсивного деформирования, уменьшение эффекта скольжения (контактных касательных напряжений) возможно за счет использования привода только нижних валов профилегибочного стана. При этом скорости профилирования не должны, как правило, превышать 30 м/мин, хотя известны случаи производства профилей несложного сечения из материала с лакокрасочным покрытием со скоростью до 48 м/мин на 20-и клетьевом стане. Требование ограничения скорости связано с высокой чувствительностью лакокрасочного покрытия к ударным воздействиям.

Переформовка профиля также является весьма нежелательным явлением с точки зрения сохранности покрытия. Для выбранной схемы формообразования (см. рис. 2б) данное условие соблюдается, поскольку протяженность зон плавного перехода во всех переходах (табл. 3) меньше межклетьевого расстояния профилегибочного станка. При проектировании оснастки и определении углов подгибки по переходам [2] во избежание переформовки следует производить оценку протяженности зон плавного перехода периферийных элементов с использованием модели работы [6].

Таблица 3

Протяженность зон плавного перехода (ЗПП)

Зона формо-изменения:	<i>Протяженность ЗПП, мм</i>							$L_M$ , мм
	<i>Номер перехода</i>							
	0	1	2	3	4	5	6	
<i>Полного</i>	35	95	92	205	206	115	120	400
<i>Наиболее интенсивного</i>	9	19	12	123	130	45	37	

Схема формовки в данной технологии предусматривает плавное изменение радиусовгиба по переходам между базовым элементом (дно профиля) и подгибаемыми полками (рис. 7) во избежание значительных контактных напряжений, характерных для схемы формовки с постоянным радиусом. Примерно такой же характер изменения радиусовгиба присущ и другим технологиям производства полузакрытых профилей иных типоразмеров из заготовок с покрытием. Профили из материалов без покрытия методом интенсивного деформирования изготавливают обычно по схеме жесткого задания радиуса на первых переходах.

Что касается рифтов, то одиночные мелкие рифты (высотой, соизмеримой с толщиной заготовки) при интенсивном деформировании могут также выполняться на первых переходах, в то время как исполнение глубоких и множественных рифтов следует распределять по переходам. Формовка рифтов приводит к боковой утяжке материала и резкому изменению жесткости элементов профиля, что существенно влияет на режимы профилирования, в частности, режим подгибки элементов профиля.

При изготовлении профилей с покрытием желательно применение смазок, например, хлопкового масла. Однако данное требование для профилей с толщиной стенки менее 1 мм не является настоятельным ввиду малости контактных напряжений.

**Выводы:**

1. При разработке технологии производства полузакрытых профилей с элементами жесткости из заготовок с покрытием можно использовать модель определения числа переходов для С-образных профилей, учитывающую степень «стеснения», жесткость угловой зоны и форму дна профиля.

2. В схемах формообразования следует предусматривать для предчистового перехода расположение будущей горизонтальной подгибаемой полки с наклоном в  $5-6^\circ$  к горизонтали.

3. Углы подгибки элементов следует назначать с учетом плавности траекторий движения точек заготовки и критериев потери устойчивости элементов профиля.

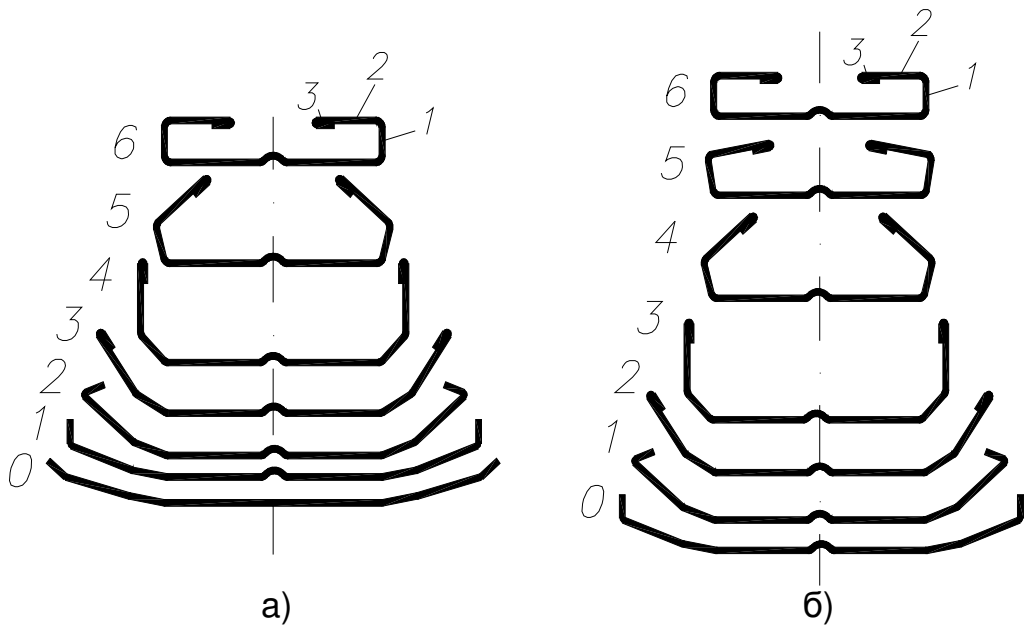
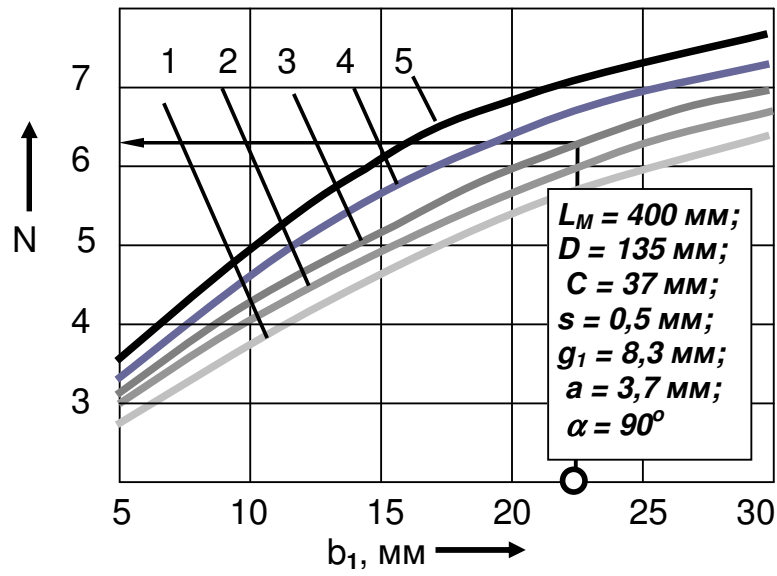
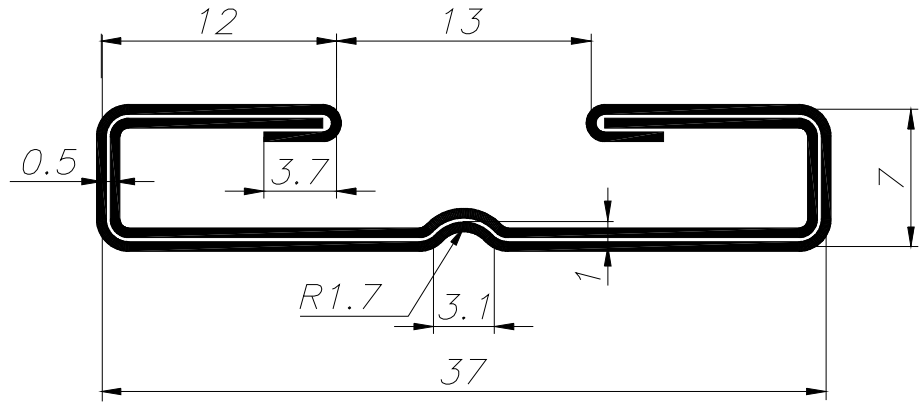
4. Предотвращение нарушений покрытия может быть обеспечено схемой замыкания роликового калибра по образующей конического участка ролика, а также выполнением участков «высвобождения» или технологических уклонов.

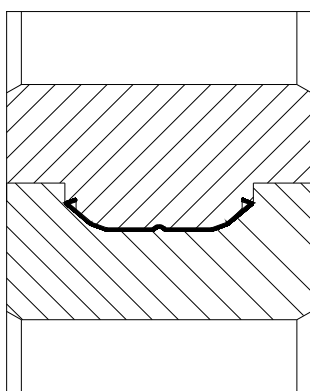
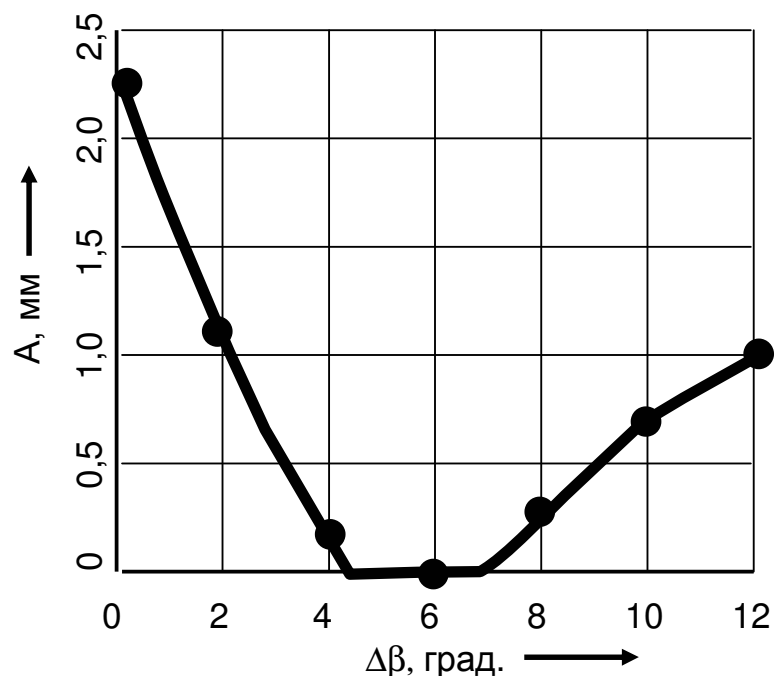
5. При разработке технологии надлежит избегать возможной переформовки профиля на основе расчета протяженности зоны плавного перехода и оптимизации режимов подгибки элементов профиля.

6. Схему формовки с переменным радиусом кривизны зон сгиба следует предпочитать схеме формовки с фиксированным радиусом кривизны.

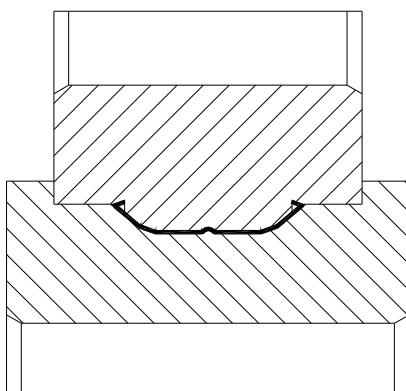
### Литература

1. Колганов И.М., Марковцев В.А., Филимонов В.И., Филимонов С.В. Классификация типовых элементов жесткости гнутых профилей и особенности их формообразования // *Авиационная промышленность*. – 2001. – № 3. – С. 21 – 25.
2. Берлет Ю.Н., Марковцев В.А., Филимонов В.И., Филимонов С.В. Деформационные характеристики подгибаемых полок и оптимизация углов подгибки при профилировании // *Кузнечно–штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – 2002. – № 6. – С. 8 – 12.
3. Филимонов С.В., Марковцев В.А., Филимонов В.И. Возникновение кромковой волнистости при профилировании // *Вестник УлГТУ*. – 2002. – № 1. – С. 32– 38.
4. Ершов В.И. Совершенствование формоизменяющих операций листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с.
5. Арышенский Ю.М., Гречников Ф.В. Теория и расчеты пластического формоизменения анизотропных материалов. – М.: Металлургия, 1990. – 304 с.
6. Колганов И.М., Филимонов В.И., Филимонов С.В. Применение модели пластического формоизменения // *Авиационная промышленность*. – 1996. – № 3 – 4. – С. 26 – 30.

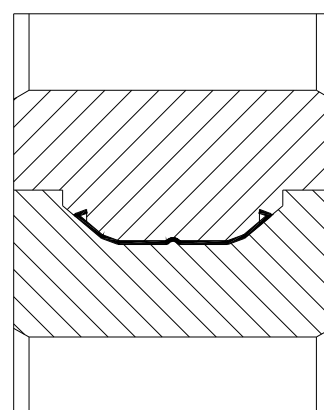




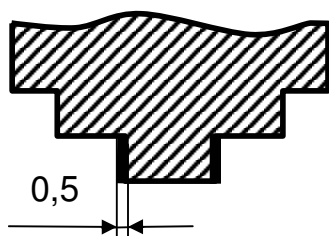
а



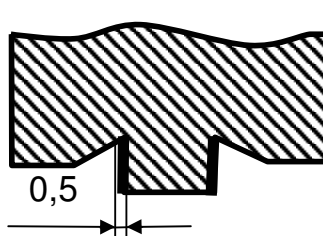
б



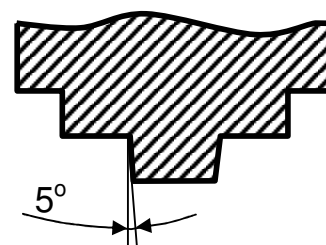
в



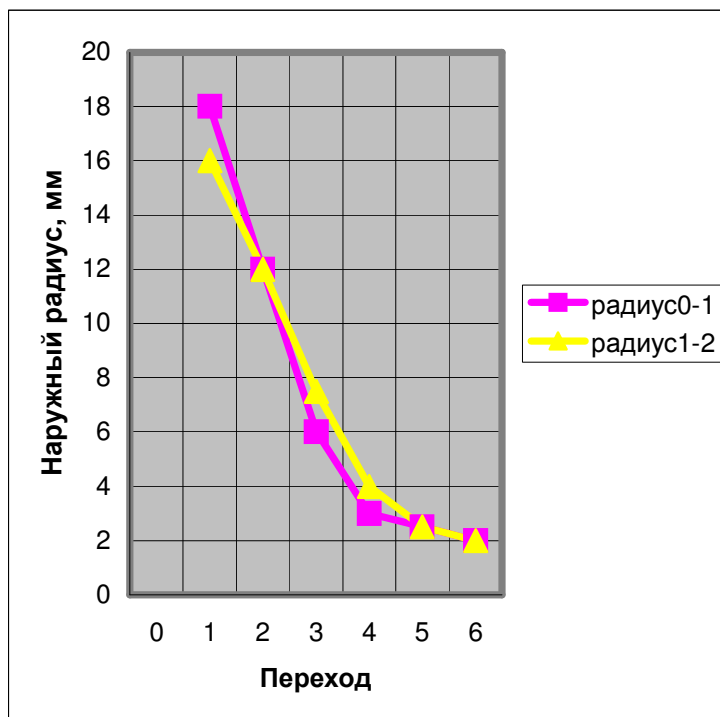
а



б



в



## ПОДПИСИ

к рисункам статьи «Особенности технологии производства в роликах полу-  
закрытых профилей с элементами жесткости из материала с покрытием»

авторов Филимонова В.И., Илюшкина М.В., Марковцева В.А.,

Филимонова С.В.

Рис. 1. Сечение изготавливаемого профиля

Рис. 2. Определение числа переходов:

1 – 5 –  $r_B = 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,0$  мм соответственно

Рис. 3. Схемы формообразования профиля:

а – предварительная; б – окончательная

Рис. 4. Зависимость кромковой волнистости от угла  
наклона образующей конического участка ролика

Рис. 5. Калибры формирующих роликов: а – с вертикальной линией разъема;  
б – с горизонтальной линией разъема; в – с дополнительными коническими  
участками

Рис. 6. Способы снижения касательных контактных напряжений:

а, б – созданием зон «высвобождения»; в – выполнением уклонов

Рис. 7. Изменение наружного радиуса заготовки между элементами профиля