

УДК 621.981

ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ В РОЛИКАХ ПРОФИЛЯ «СТОЙКА»

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

В последние годы в обрабатывающей промышленности сохраняется устойчивая тенденция к автоматизации производственных процессов, требующей автоматизированного разветвленного складского хозяйства на основе модульных стеллажных конструкций. Основными элементами таких конструкций являются перфорированные стойки 110x77x2 мм из оцинкованной стали (рис. 1,а). Профиль стойки изготавливают по зарубежной технологии не менее чем за 22 – 24 перехода, в то время как методом интенсивного деформирования он может быть изготовлен за менее чем 18 переходов при использовании менее энергоемкого оборудования [1].

Однако конструкция профиля (рис. 1,б,в) содержит проблемные участки для формовки (рифты – поз. 1, 2; отверстия прямоугольной формы в донной части профиля – поз. 3; отбортовки – поз. 4). Цинковое покрытие исходных заготовок также вызывает определенные сложности при изготовлении профиля. Формовка малого и большого рифтов в донной части профиля, а также отбортовки на периферии сечения профиля представляет существенные трудности в части обеспечения размерной точности элементов и отсутствия утонения. Утонение по условиям технического задания не должно превышать 0,1 мм. Столь жесткие значения связаны с эксплуатационной нагрузкой профиля в стеллажной конструкции, которая приходится на угловые зоны рифтов. Формовку элементов профиля осложняет наличие перфорации.

В этой связи была разработана программа экспериментальных исследований процесса формообразования упомянутого профиля, которая предусматривала изучение вопросов: 1. формовки прямоугольного рифта 30S-7S и трапециевидного рифта 16S-2S; 2. формовки полукруглой отбортовки R3; 3. влияния

перфорационных отверстий на качество профиля; 4. поведения цинкового покрытия при формообразовании.

Применяемое в исследованиях оборудование и приборы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Применяемое оборудование и приборы

№	Оснащение, прибор	Назначение
1.	Станок ГПС–350 М8	Профилирование заготовок
	Технологическое оснащение (формующие ролики)	Формовка профиля
2.	Наборы щупов	Настройка роликов
3.	Наборы радиусомеров	Замеры радиусов на заготовке и профиле
4.	Стенкомер индикаторный типа С-10А 0-10 мм, ГОСТ 11951-82	Измерение толщины металла в угловых зонах профиля
5.	Фотоаппарат Samsung digimax i5,	Фотографии и изображения образцов
6.	Сканер Mustek 12000	Сканирование шлифов, образцов

В сечении профиля имеются три основных элемента, влияющих на процесс формообразования: **рифт 30S-7S**; **рифт 16S-2S**; **полукруглая отбортовка R3**. Формовка указанных элементов профиля может проводиться по ряду схем, дающих различные результаты. Табл. 2 дает варианты очередности формовки указанных элементов и соответствующий им номер схемы.

Таблица 2

Очередность формовки элементов профиля

№	Очередность формовки*			Особенности и номер схемы формообразования
	1 очередь	2 очередь	3 очередь	
1	Рифт 30S-7S- рифт 16S-2S- отбортовка	–	–	Схемы 1 и 2: одновременная формовка всех элементов
2	Рифт 30S-7S- рифт 16S-2S	Отбортовка	–	5 схема
3	Рифт 30S-7S	Рифт 16S-2S	Отбортовка	4 схема
4	Рифт 16S-2S	Рифт 30S-7S	Отбортовка	3 схема

* –формовка отбортовки осуществляется в начале или в конце процесса

При одновременной формовке всех трех указанных элементов (схемы 1 и 2) было установлено, что отбортовка должна формироваться по возможности в конце процесса, поскольку при ее формовке в начале процесса увеличивается жесткость полки, что требует дополнительных сил подтяжки краевых элементов для обеспечения формовки рифта [2]. Поэтому в других схемах отбортовка формируется только в конце, после формовки остальных элементов профиля.

В **схеме 1** за первый переход формируется рифт 16S-2S и начинается формовка рифта 30S-7S. Полная формовка рифта 30S-7S осуществляется за четыре перехода постепенной подгибкой соответствующих полок. Утонение металла в **схеме 1** в зоне изгиба «А» достигает 0,5 мм.

Для предотвращения утонения в зонахгиба «А» и «В» на четвертом переходе совмещали подгибку с обжимом – **схема 2**. Осадка заготовки в последнем переходе вместо предполагаемого утолщения вызвала утонение металла. Как показали исследования, одновременный обжим и подгибка полки вызывают значительную переформовку заготовку перед площадкой осаживания, что приводит к утонению заготовки на 0,9 мм. При этом наблюдались трещины в зонегиба по толщине металла в местах перфорации. Как вариант, можно было бы разделить операции подгибки и осадки с включением еще одного перехода, однако утонение, набранное до этого перехода, не может быть компенсировано набором металла до необходимой толщины при осадке.

Третья схема (рис. 2,б) представляет собой “разгруженную” первую схему, в которой уменьшены углы подгибки в каждом из переходов, а формовка рифта 16S-2S осуществляется за первый переход с последующей формовой рифта 30S-7S за восемь переходов постепенной подгибкой полок. Утонение в исследуемых зонах изгиба достигает 0,3 мм, что в 3 раза превышает допустимое утонение. Приобретаемое утонение по переходам в трех первых схемах представлено на рис. 3, показывающем многократное превышение допустимого утонения во всех изученных схемах.

В **четвертой схеме** формообразования для обеспечения минимального утонения в зоне изгиба предложено выполнять формовку рифта 30S-7S из ду-

гообразной заготовки, сформованной за первые 3 перехода. На последующих двух переходах происходит формовка заготовки с боковой утяжкой вертикальных полок, а на следующих двух переходах формируется рифт 16S-2S обжимом участка заготовки с поперечной кривизной. На рис. 2,в приведена схема формообразования донной части профиля для семи переходов, а на рис. 2,г указаны радиусы кривизны заготовки на пятом и шестом переходах. Расположение примыкающих к рифту полок, направленных в обратную сторону от формовки рифта (рис. 4,а), обеспечивает меньшее утонение в зонах изгиба.

В рамках данной схемы предварительно изучали на первых четырех переходах формовку рифта по различным технологическим вариантам. Ниже представлены четыре технологических варианта осуществления четвертой схемы формообразования: вариант №1 – ширина заготовки 140 мм, радиус скругления инструмента на первых четырех переходах 7-5-3-2 мм соответственно; вариант №2 – аналогично варианту №1 при увеличении радиусов инструмента до 30-20-6-4 мм соответственно; вариант №3 – аналогично варианту №2 при увеличении высоты рифта на 3 мм для обеспечения набора металла и изменении радиусов скругления инструмента до 30-20-10-6 мм соответственно; вариант №4 – аналогично варианту №3 при одновременном поджатии в торцы заготовки между переходами.

Для **первого** варианта при малых радиусах скругления инструмента (7-5-3-2 мм соответственно) характерно наибольшее утонение, поскольку участки инструмента с малыми радиусами ($R_{инст.}$) внедряются в заготовку и препятствуют перетеканию металла при формовке рифта. Увеличение радиусов скругления инструмента по переходам до значений 30-20-6-4 мм позволяет на 35 – 40% уменьшить утонение в угловых зонахгиба (**второй** вариант). В плоском листе и по центру рифта утонение не выявлено. В зоне «В» утонение начинается при формовке рифта. В зоне «А» наибольшее утонение имеет место в четвертом переходе, когда из дугообразной заготовки начинают формироваться будущие вертикальные участки при контакте этой зоны с участком инструмента значительной кривизны. При формовке рифта из дугообразной заготовки между пятым и

шестым переходом (рис. 4,б) возникает продольный прогиб заготовки вверх с радиусом кривизны 900 мм после шестого перехода (рис. 4,в).

В **третьем** варианте радиусы скругления увеличены до 30-20-10-6 мм, при этом величина утонения на последнем переходе уменьшилась относительно предыдущего варианта на 30%. Увеличение высоты рифта на 3 мм практически не отразилось на величине утонения.

В **четвертом** варианте введено дополнительное торцевое поджатие заготовки между переходами. Утонение уменьшилось относительно предыдущего варианта на (25-30)% и составило в зоне «А» – 0,06 мм, в зоне «В» – 0,1 мм. Однако создание торцевых давлений на плоских горизонтальных участках шириной более 40S является технически трудновыполнимой задачей, поскольку приложение давления к торцу вызывает смятие торца заготовки без дальнейшей передачи давления к срединной части заготовки. К тому же в следующих трех переходах (переходы 5 – 7) происходит утонение металла еще на 0,04-0,06 мм, так что толщина металла в угловой зоне становится больше допустимой.

Параметры инструмента и заготовки (см. рис. 1 и 2), а также утонение последней по реализации всех четырех вариантов технологии приведены в табл.3.

Таблица 3

Утонение металла в угловых зонах рифта для четырех вариантов технологии

		Технологические параметры			Величина утонения		Технологические параметры			Величина утонения	
		Н, мм	R _{рифт} , мм	R _{инст} , мм	А, мм	В, мм	Н, мм	R _{рифт} , мм	R _{инст} , мм	А, мм	В, мм
		Вариант 1					Вариант 2				
переход	1	10	94	7	0	0,07	10	94	30	0	0,05
	2	15	61	5	0	0,11	15	61	20	0	0,06
	3	20	44	3	0	0,21	20	44	6	0,02	0,12
	4	20	-	2	0,14	0,27	20	-	4	0,09	0,19
		Вариант 3					Вариант 4				
переход	1	13	73	30	0,01	0,05	13	73	25	0,01	0,05
	2	18	54	20	0,01	0,06	18	54	20	0,01	0,05
	3	23	40	10	0,01	0,12	10	40	10	0,02	0,08
	4	23	37	6	0,11	0,13	6	37	6	0,06	0,1

Отсюда видно, что приемлемым с точки зрения утонения является только четвертый вариант технологии, на основе которого предложена новая схема формообразования профиля (**схема № 5**, см. табл. 2). В этом случае формовка “двугорбого” рифта осуществляется постепенной подтяжкой металла по большим радиусам за четыре перехода с последующим удержанием криволинейных участков той же ширины и осадкой “двугорбого” рифта [3] с постепенным уменьшением радиусов за три перехода до получения рифтов 30S-7S и 16S-2S.

Данная схема предусматривает два этапа формовки рифта (табл. 4).

Таблица 4

Схема формовки рифтов в донной части профиля

Этап формовки	Описание процесса	Режим формовки
Формовка “двугорбого” рифта за четыре перехода	Линейное увеличение высоты “двугорбого” рифта	Высота рифта: 7-14-21-28 мм
	Переменный радиус скругления инструмента для обеспечения плавной перетяжки металла	Радиусы скругления: 80-40-20-14 мм
	Формовка участка под рифт 16S-2S за три перехода	Высота участка: 2-4-6-6 мм
	Излишек металла под формовку вертикальных стенок	Излишек металла: 3,4 мм на сторону
Формовка рифтов 30S-7S и 16S-2S за три перехода постепенной осадкой “двугорбого” рифта	Постепенное уменьшение высоты “двугорбого” рифта	Высота рифта: 22-18-13,5 мм
	Осадка с оформлением угловых зоны рифта 30S-7S	Радиус инструмента: 8-5-2 мм
	Формовка рифта 16S-2S в одном шестом переходе. Седьмой переход – калибрующий (окончательный обжим рифта 16S-2S)	Формовка в окончательный размер по чертежу
	Обжим по высоте на шестом и седьмом переходах	Величина обжима: шестой переход – 1,4 мм; седьмой переход – 2 мм

Изменение толщины заготовки по зонам:

- Зоны «А» и «В» – в первых четырех переходах при плавной перетяжке металла по большим радиусам происходит постепенное утонение металла на 0,03 и 0,04 мм соответственно. В следующих двух переходах при постепенной осадке имеет место дополнительное утонение на 0,02 мм, а в

седьмом переходе при осадке участка с избытком металла происходит некоторый набор металла в угловой зоне профиля. Суммарное утонение не превышает 0,1 мм;

- Зона «D» (центр рифта) – на первых пяти переходах происходит постепенное утонение от 0,01 до 0,07 мм. Осадка в шестом и седьмом переходах не меняет величины утонения;
- Зона «C» – утонение до 0,16 мм на первых четырех переходах (обусловленное наличием дугообразной зоны в сопряжении радиусов будущих рифтов 30S-7S и 16S-2S). Осадка в следующих переходах позволяет в этой зоне незначительно набрать металл. Окончательное утонение по зоне «C» составляет 0,1 мм.

Формовка рифтов в донной части профиля по пятой схеме не испытывает влияния полукруглой отбортовки с радиусом R3, которая формируется на последующих трех переходах. В принципе, формовка данного элемента может осуществляться и за меньшее число переходов (один-два), однако размерные параметры отбортовки существенно ухудшаются, хотя и происходит утолщение материала при наличии торцевого поджатия [3]. Однако отформованная отбортовка должна быть свободно пропущена через остальные переходы. В противном случае возможно нарушение форм и размеров данного элемента. Например, продольная осадка полки приводит к искривлению отбортовки и самой несущей полки (рис. 6,а). Наличие участков высвобождения в роликовых калибрах позволяет получить отбортовку удовлетворительного качества (рис. 6,б). Исполнение участков высвобождения следует согласовывать с надлежащим замыканием калибров (рис. 6,в).

Еще одним фактором, осложняющим формообразование профиля, является наличие **перфорации** в донной части профиля. Технология предусматривает пробивку отверстий в плоской заготовке и ее последующую формовку в роликах до окончательной конфигурации сечения. При формовке рифтов меняется топология отверстий [4], что требует корректировки шага отверстий при их пробивке. С другой стороны, во всех схемах формообразования, кроме пя-

той, происходит деформация самого отверстия (рис. 7,а). Выбор относительно «мягкого» режима формовки рифтов в пятой схеме позволяет получить удовлетворительное качество отверстий (рис. 7,б). Следует также отметить существенную закономерность: в зонах изгиба рифтов на уровне отверстий утонение заготовки практически отсутствует, в то время как на сплошных участках в направлении профилирования утонение заготовки может достигать уровня 40 % при жестких схемах формообразования со значительной боковой утяжкой материала.

Надлежит также отметить еще один важный фактор, влияющий на выбор схемы формообразования профиля, каковым является наличие **цинкового покрытия** исходной заготовки. По возможности следует применять достаточно «мягкие» схемы формовки, как, например, в способе изготовления профилей [5]. При жестких схемах формообразования в отсутствие смазки может происходить снятие покрытия и налипание материала на формующие ролики (рис. 8). Это особенно характерно для зон, примыкающих к угловым зонам и расположенным у основания вертикальных полок. Из-за налипания материала покрытия на формующие ролики происходит уменьшение зазора в калибре, что приводит к значительному увеличению энергетических параметров формовки, аксиальной вытяжке (раскатке) профиля или даже перетиранию и скручиванию рабочих валов профилировочного станка.

Негативным следствием снятия покрытия заготовки (более 80%) является уменьшение коррозионной стойкости профиля [1] при эксплуатации (исследовали в естественных климатических условиях в течение 8 месяцев, в том числе 4 месяца на снегу). Коррозии подвержены и торцы профиля, но здесь появление следов коррозии обусловлено отсутствием защитного покрытия.

На рис. 9 представлен готовый профиль и сборочный узел стеллажной конструкции на основе профиля “Стойка”, изготавливаемого за 16 переходов. Данный профиль может применяться не только для стеллажных конструкций, но и для возведения навесов, пристроев, укрытий, конструкций под рекламные щиты и т. п..

Выводы:

1. Формообразование многоэлементных профилей с элементами жесткости должно осуществляться в следующей последовательности: формовка рифтов в донной части, формовка периферийных элементов жесткости, подгибка элементов до окончательной конфигурации.

2. С целью предотвращения утонения, деформации отверстий и нарушения покрытия следует использовать «мягкий» режим формовки:

- Формовку рифтов донной части профиля следует производить по схемам, сочетающим формовку плавных форм заготовки на первых переходах с постепенной осадкой ее в последующих переходах с удержанием металла от бокового смещения при осадке;

- Углы подгибки не должны превышать их допустимых значений;

- Радиусы скругления инструмента в калибре не должны быть меньше 2 – 3 мм, а радиусы скругления буртов не должны быть менее 3 – 5 мм;

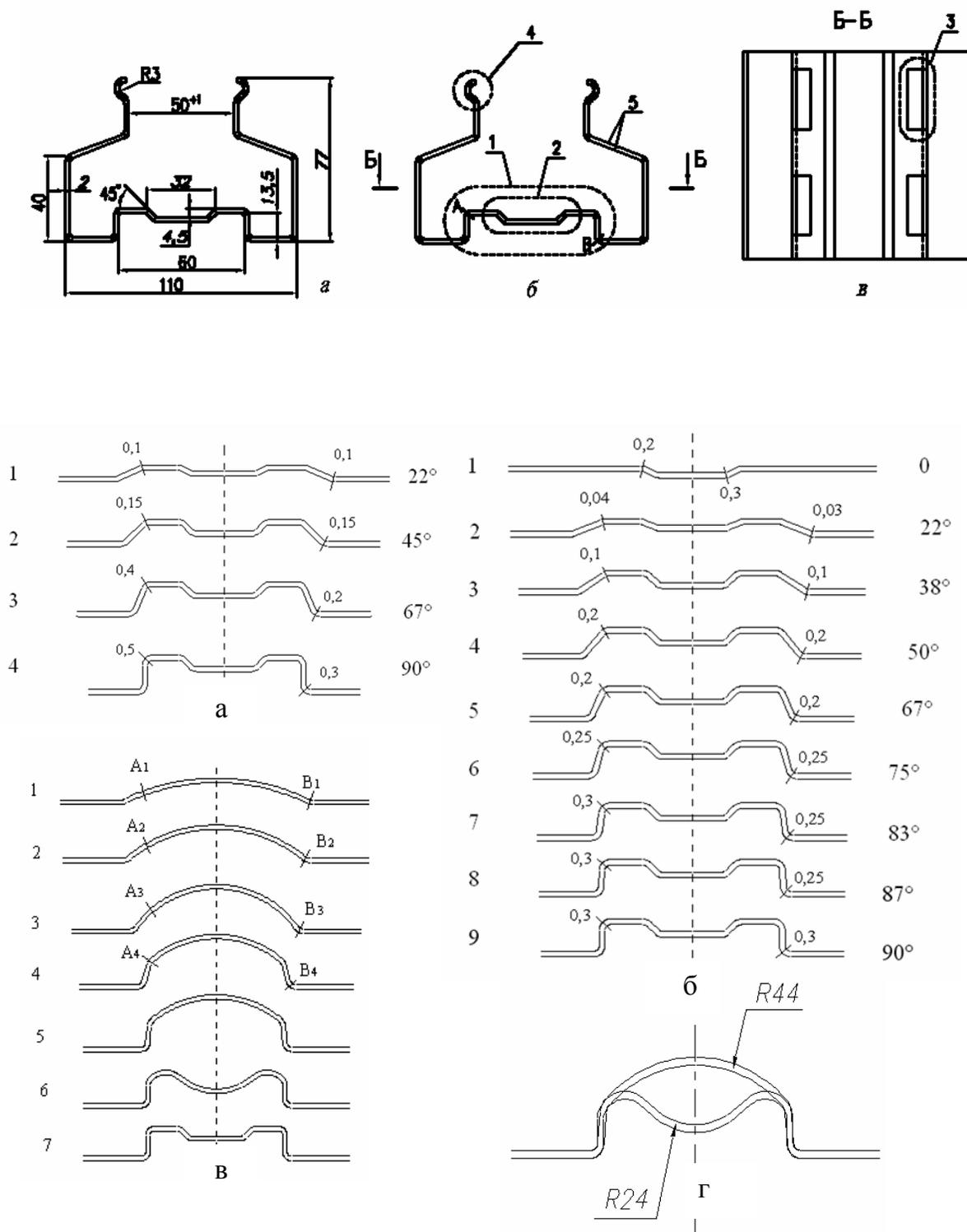
- Отформованные в окончательный размер элементы жесткости профиля должны свободно проходить в зоны высвобождения калибров последующих переходов;

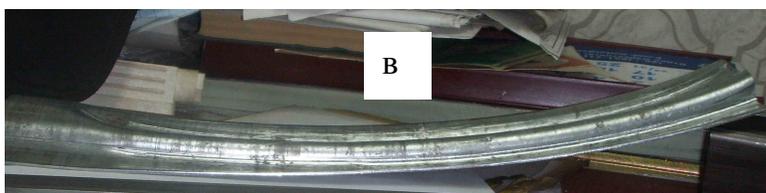
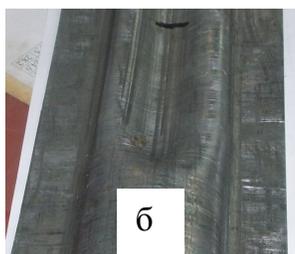
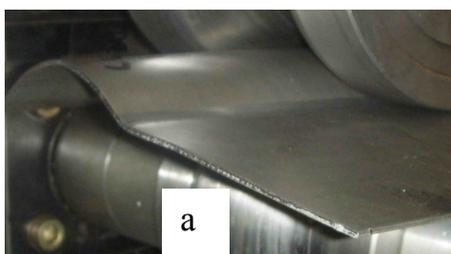
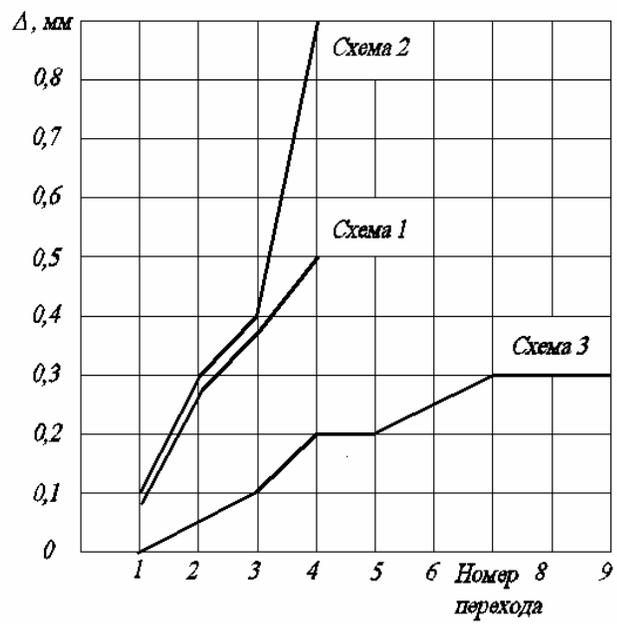
- Обязательным является применение смазочной жидкости (мыльный раствор, СОЖ), а также наличие смазочных ванн под нижними роликами.

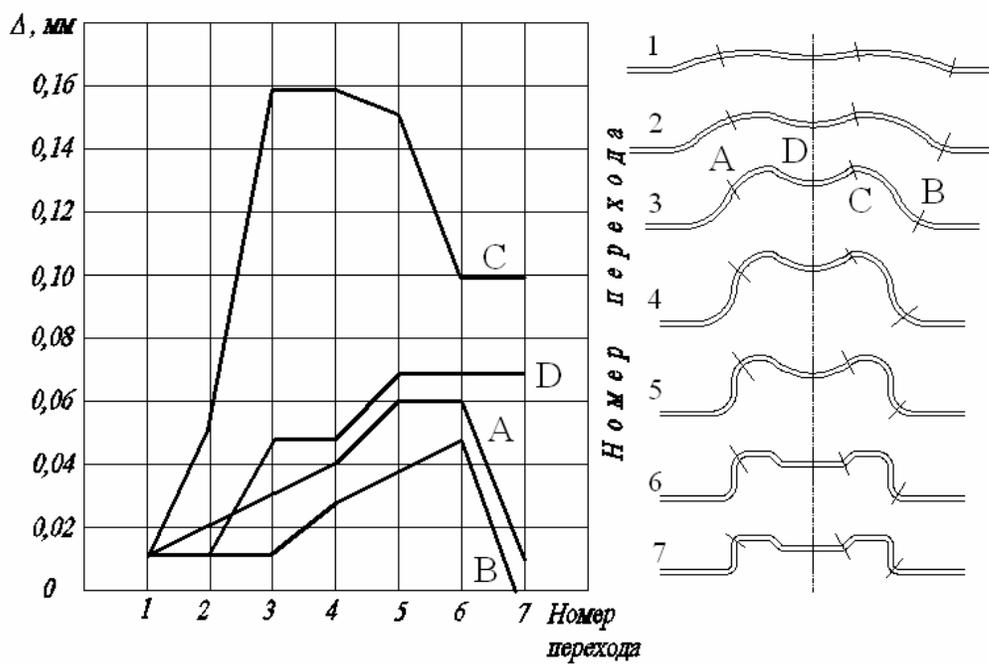
Литература

1. Илюшкин М.В. Интенсивная технология производства гнутых профилей из материалов с покрытием в роликах / М.В. Илюшкин, В.И. Филимонов. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006. – 200 с.
2. Филимонов, В.И. Особенности технологии производства в роликах полужакрытых профилей с элементами жесткости / В.И.Филимонов, М.В. Илюшкин, В.А. Марковцев, С.В. Филимонов. // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2004. – № 11. – С. 12 – 17.
3. Марковцев В.А. Формообразование стесненным изгибом в роликах и правка гнутых тонкостенных профилей / В.А. Марковцев, В.И. Филимонов. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006. – 244 с.
4. Филимонов, В.И. Особенности изготовления в роликах перфорированных уголкового профиля / В.И. Филимонов, И.Н. Гудков, В.А. Марковцев, С.В. Филимонов // Производство проката. – 2004. – № 12 . – С. 29-34.
5. Патент РФ № 2296025 МПК⁷ В21D5/06 Способ изготовления швеллеров, преимущественно из материалов с покрытием // Филимонов В.И., Марковцев В.А., Илюшкин М.В., Филимонов С.В. – Опубл. 27.03.2007. Бюл. № 9.

Рисунки
к статье «Отработка технологии изготовления в роликах профиля «Стойка»
авторов В.А. Марковцева, М.В. Илюшкина, В.И. Филимонова



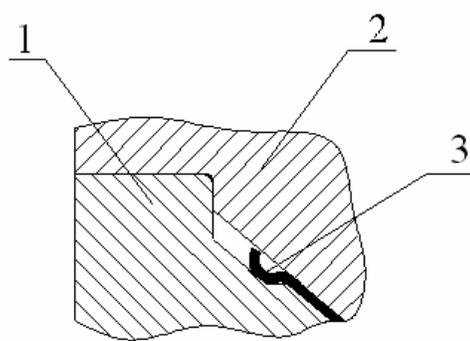




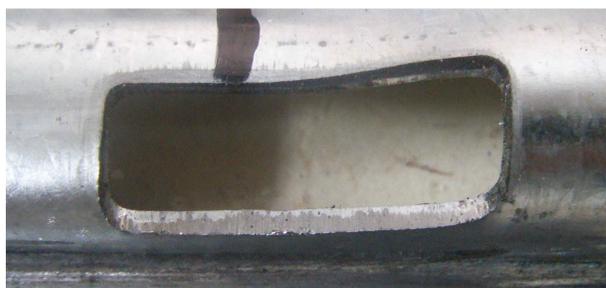
а



б



в



а



б



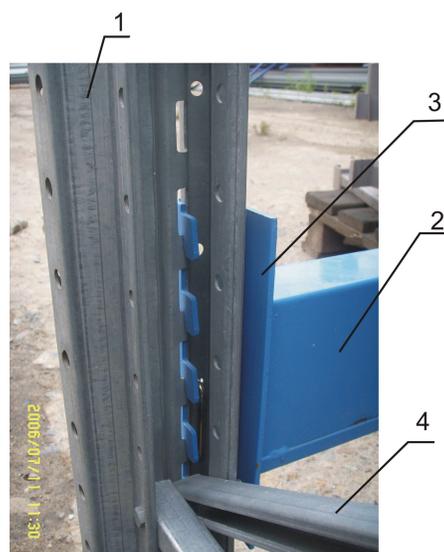
a



б



a



б

Подписи к рисункам
статьи «Отработка технологии изготовления в роликах профиля «Стойка»
авторов В.А. Марковцева, М.В. Илюшкина, В.И. Филимонова

Рис. 1. Профиль стойка “110x77x2 мм”: а – чертеж сечения профиля; б, в – участки профиля, вызывающие проблемы при их формовке: 1 – прямоугольный рифт 30S-7S; 2 – трапециевидный рифт 16S-2S; 3 – перфорационные отверстия 28x9 мм с шагом 50 мм; 4 – полукруглая отбортовка R3; 5 – цинковое покрытие 1 класса по ГОСТ 14918-80

Рис. 2. Формовка рифтов донной части: а – по схемам 1, 2; б – по схеме 3; в – по схеме 4; г – параметры перехода при формовке двугорбого рифта

Рис. 3. Утонение металла Δ в исследуемой зоне изгиба «А» для трех схем формовки рифтов по переходам

Рис. 4. Отработка технологии формовки рифтов цельной заготовки: а – снижение утонения за счет отгибки полок вниз; б – зона плавного перехода перед шестым переходом; в – появление продольной кривизны с $R=900$ мм при формовке в шестом переходе

Рис. 5. Схема формообразования № 5 и утонение элементов профиля Δ по переходам

Рис. 6. Формовка отбортовки: а – потеря формы отбортовки вследствие давления со стороны верхнего ролика; б – отбортовка, полученная при высвобождении участков калибра с вертикальным замыканием роликов; в – высвобождение в калибре для предотвращения переформовки отбортовки: 1 – нижний ролик; 2 – верхний ролик; 3 – отбортовка с несущей полкой профиля

Рис. 7. Прямоугольное отверстие 28x9 мм после формовки по жесткому режиму (а) и после формовки по схеме № 5 (б)

Рис. 8. Налипание цинкового покрытия на вертикальные боковые рабочие поверхности ролика в одном направлении (а) и в разных направлениях (б)

Рис. 9. Готовый профиль (вид с торца и сбоку) (а) и сборочный узел (б) на основе профиля “Стойка”: 1 – стойка 110x77x2 мм, 2 – балка, 3 – зацеп, 4 – распорка