

## Исследование процесса формовки гнутого профиля типа “штaketник” методом интенсивного деформирования моделированием в программе LS-DYNA.

При разработке технологии производства в роликах многоэлементных профилей с широкими периферийными полками из тонколистового металла часто возникают дефекты, вызванные потерей устойчивости периферийных элементов и проявляющиеся в виде кромковой волнистости или изломов. Указанные дефекты характерны для профилей с размером периферийных элементов более  $15S$  и толщиной заготовки  $S < 1$  мм при ограничениях по числу переходов, связанных с применяемым профилировочным оборудованием. Такая ситуация имеет место и при использовании метода интенсивного деформирования, где используется преимущественно принцип параллельной формовки с постоянными радиусами изгиба в условиях весьма ограниченного числа переходов. В таких случаях приходится разрабатывать и применять специальные межклетьевые проводки, позволяющие улучшать схему формообразования и предотвращать дефекты потери устойчивости периферийных элементов.

Особенностью профиля “штaketник” (рис. 1) является наличие широких периферийных полок шириной  $42S$  при  $S = 0,5$  мм, подгибаемых на суммарный угол  $180^\circ$  и подверженных потери устойчивости. Материал заготовки – сталь 08кп с декоративным лакокрасочным покрытием. По требованию заказчика реализация технологии должна осуществляться на восьми - клетьевом профилировочном станке СПУ-500М8 (табл. 1).

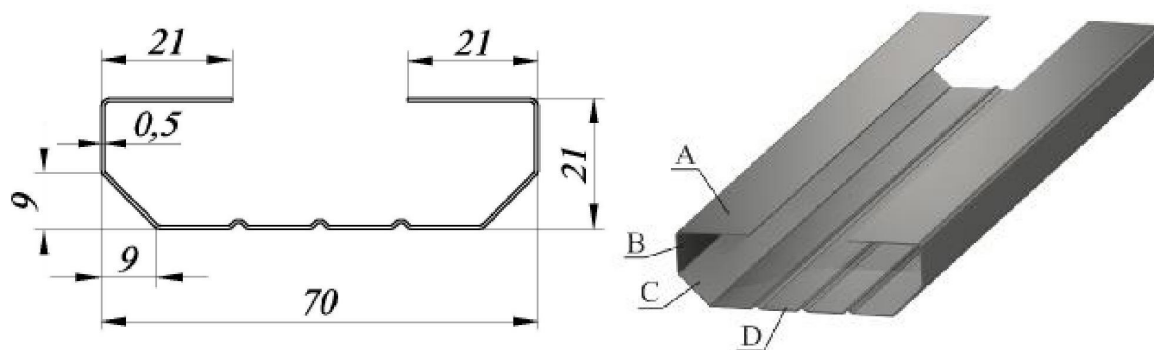


Рис. 1. Профиль “Штaketник” (70x21x0,5 мм):  
а – чертеж профиля; б – модель профиля и обозначение полок

При разработке схем формообразования рассматривались несколько вариантов формовки. По первому варианту прямолинейные элементы профиля формируются последовательно, начиная с крайних элементов до достижения суммарного угла подгибки, заданного чертежом. Горизонтальная полка А должна формироваться на первых четырех переходах, вертикальная полка В – на пятом и шестом переходе, наклонная полка С – на двух последних переходах. Недостатком данной схемы является отсутствие доступа верхнего ролика в угловые зоны на 6 – 8 переходах.

Таблица 1

№ п/п	Наименование параметра и его размерность	Значение параметра
1.	Число клеток, шт.	8
2.	Межклетьевое расстояние, мм	350
3.	Межосевое расстояние, мм	120...160
4.	Диаметр рабочих валов, мм	50
5.	Базовые диаметры роликов, мм	90
6.	Скорость профилирования, м/мин	12
7.	Вспомогательные устройства, шт.: – направляющее – правильное	1-1

Для тщательной формовки зон сгиба предназначена схема с одновременной формовкой элементов, в которой зоны изгиба формируются при более благоприятных условиях, причем, обеспечивается равномерность смещения кромки заготовки по переходам, как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости, что является одним из условий выравнивания продольных деформаций периферийных полок по переходам.

Однако оптимальной можно считать схему формообразования, выполненную по техническому решению, где углы подгибки элементов профиля связаны функциональной зависимостью со смещением кромки заготовки и шириной подгибаемого элемента.

Данная схема формообразования принята в качестве основной для разработки технологии, однако для выявления уровня достигаемых деформаций и возможной потери устойчивости процесс формообразования был смоделирован с использованием программы LS-DYNA. Параметры моделирования следующие: тип элемента – Shell 163 с одноточечной редуцированной схемой интегрирования по плоскости с контролем Hourglass 4; модель материала: для профиля – билинейная изотропная модель (\*MAT\_PLASTIC\_KINEMATIC), для роликов – инструментальная сталь У8. Ролики задавались как абсолютно жесткие тела, конечно-элементная сетка задавалась только на их поверхности. Условия контактного взаимодействия на базе элемента Shell 163 приняты следующими: заготовка – формирующие ролики – Forming surface-to-surface contact (ASTS); заготовка – направляющие и промежуточные ролики – Automatic surface-to-surface contact (ASTS). Заданные в программе механические характеристики соответствовали механическим характеристикам заготовки.

В результате моделирования были получены сечения профиля по переходам с изображением на них уровня продольной деформации срединной поверхности заготовки в направлении оси профилирования Z (рис. 2). Здесь же представлена потеря устойчивости периферийного элемента в форме кромковой волнистости, которая образуется перед третьим переходом и, несколько изменяя свои параметры в шестом – восьмом переходах, остается на готовом профиле.

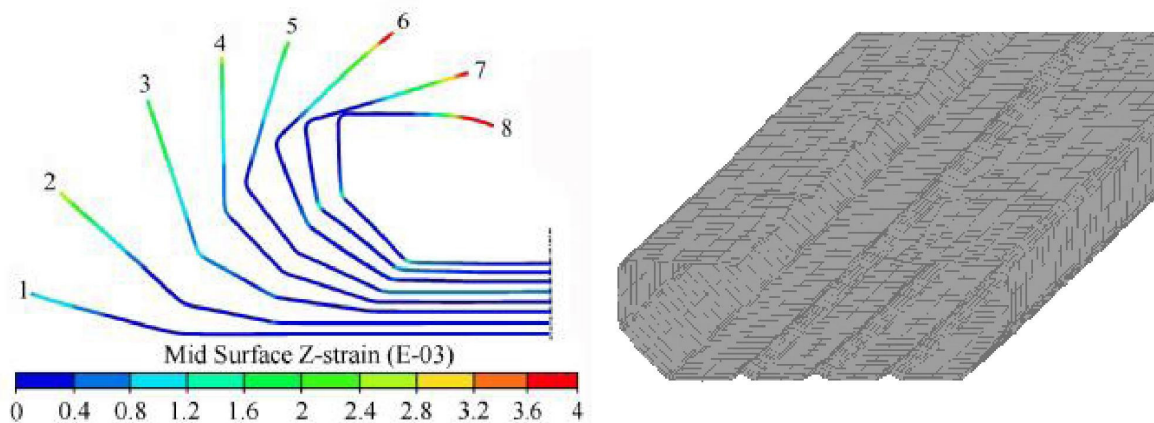


Рис. 2. Распределение продольных деформаций в сечениях профиля по переходам (слева) и кромковая волнистость периферийной полки (справа)




Для проведения экспериментальных работ, в соответствии со схемой деформирования, была разработана и изготовлена технологическая оснастка к профилировочному станку. Результаты профилирования полосы качественно и количественно подтвердили полученные результаты моделирования.

Одним из путей предотвращения кромковой волнистости является повышение жесткости периферийных полок за счет дополнительных элементов (продольных рифтов, пуклевок и/или отбортовок), а также за счет применения межклетевых проводок. Однако в результате опытного профилирования заготовок с указанными выше дополнительными элементами жесткости показало, что влияние их ограничивается седьмым переходом, после которого имеет место потеря устойчивости периферийных полок в виде волнистости или

излома (табл. 2). Кроме того, прохождение дополнительных элементов жесткости через роликовые калибры требует введения зон высвобождения в формующей оснастке, а наличие пуклевок ухудшает внешний вид профиля. Поэтому было принято решение по разработке конструкций межклетевых проводок для последнего перехода, которые бы осуществляли формовку продольных рифтов и отбортовок и улучшали бы общую схему формообразования.

Таблица 2

Вид и параметры потери устойчивости элементов профиля

Тип заготовки и номер образца профиля		Вид и параметры потери устойчивости полок		
		Вид потери устойчивости	Период, мм	Амплитуда, мм
Без рифтов	1		55	2,5
	2		52	2,3
	3		56	2,6
С рифтами	4		99,5	4
	5		85	3
	6		81,5	3,5
С насечками	7		56	2
	8		52	1,5
	9		54	1,5

На основе анализа классификатора предварительно была определена межклетевая проводка для формовки продольного рифта и подгибки полок, выполненная в виде неприводных роликов и устанавливаемая перед восьмым переходом (блоки 1,3–3.1–5–7). Для предварительной оценки влияния выбранного устройства на устранение дефектов профиля было проведено моделирование процесса формообразования профиля без использования проводки и с применением проводки (рис. 3).

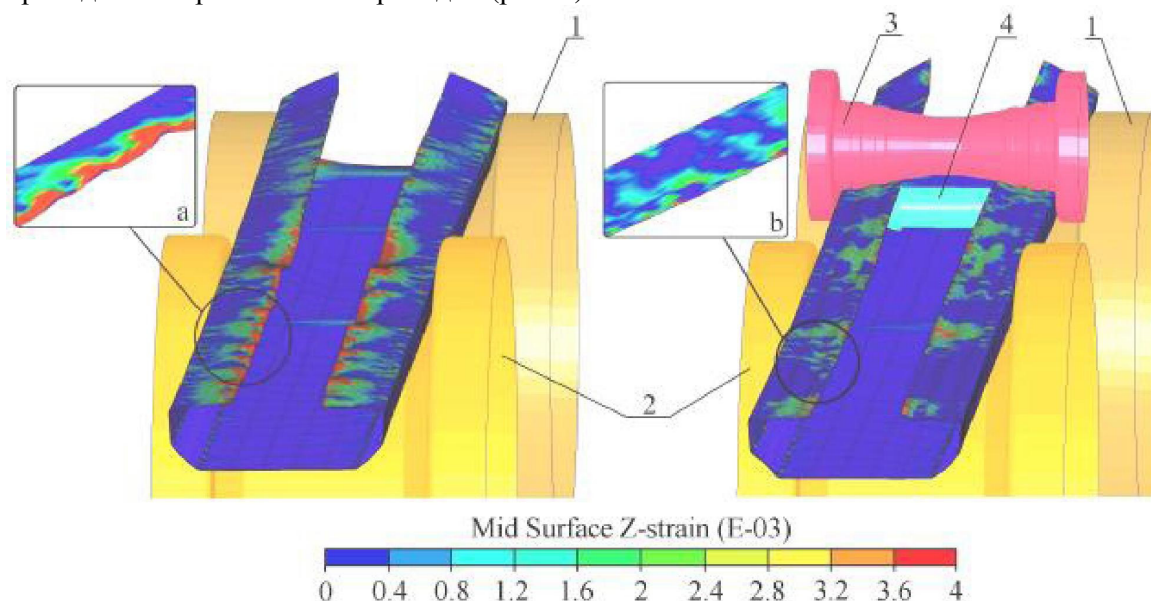


Рис. 3. Сравнительный анализ распределения продольных деформаций на профиле до применения (а) и после применения межклетевой проводки (б): 1 – нижний ролик 7-го перехода, 2 – нижний ролик 8-го перехода, 3 – верхний ролик межклетевой проводки, 4 – нижний ролик межклетевой проводки; **внизу** – шкала продольных деформаций срединной поверхности полки

Качественный сравнительный анализ рис. 3,а и 3,б показывает, что во втором случае уровень деформаций периферийных полок существенно ниже, чем в первом, что дает основание для оптимистичного прогноза в отношении предотвращения потери устойчивости полки профиля. Количественные характеристики моделирования процесса формообразования с применением проводки в сопоставлении с формовкой профиля только в основных роликах приведены на рис. 4. Проводка осуществляет формовку продольного рифта и подгибку полок на угол  $10^\circ$  для создания более благоприятных условий деформирования (устранение чрезмерного поперечного изгиба жестких полок с продольными рифтами). Анализ продольных деформаций показывает, что действие проводки перед восьмым переходом приводит их значение практически к нулевому уровню, а, следовательно, устраняется и потеря устойчивости подгибаемых полок.

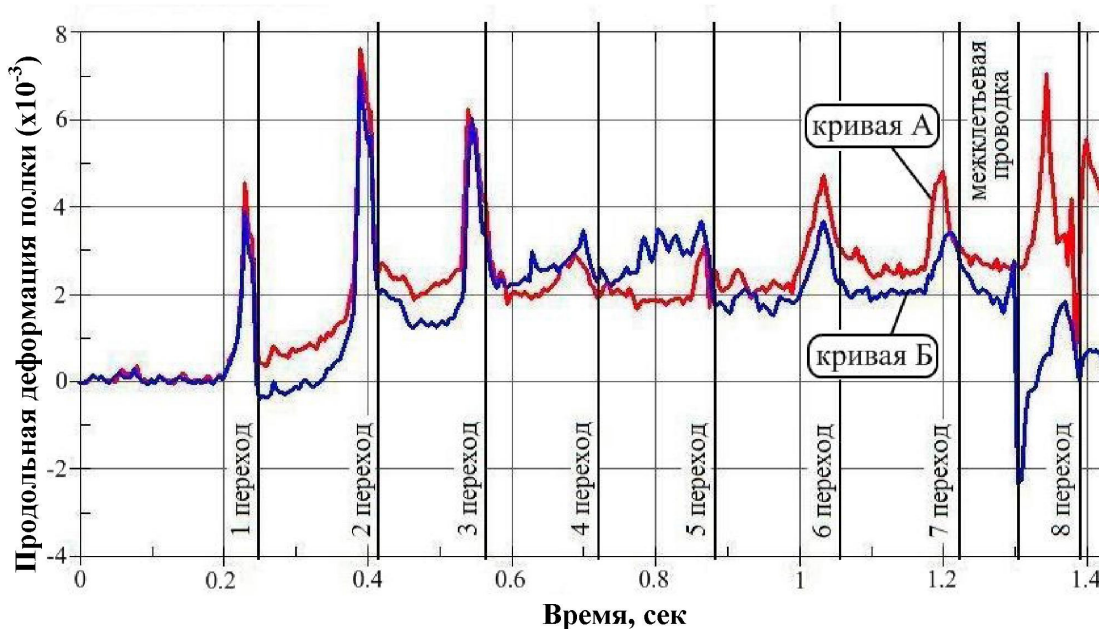


Рис. 4. График распределения продольных деформаций по переходам: без применения (кривая А) и с применением межклетевой проводки (кривая Б)

В результате использования комбинации двух межклетевых проводок получен кондиционный экспериментальный профиль (рис. 5).



Рис. 5. Готовый кондиционный профиль 70x21x0,5 мм