

УДК 981.1:629.73.002.2

ОЦЕНКА УРОВНЯ ПРОДОЛЬНЫХ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ГНУТОЛИСТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

© 2011 С.П. Попов¹, О.Ф. Соколова², С.Г. Рыжаков¹

¹ Ульяновский филиал ОКБ ОАО “Туполев”

² Институт авиационных технологий и управления
Ульяновского государственного технического университета

Поступила в редакцию 12.05.2011

В статье авторы проводят и методом верификации анализируют уровень продольных остаточных деформаций, с учетом результатов обработки измерений по длинам зон плавного перехода в местах прогиба профилей при формообразовании; проводят экспериментальные и теоретические расчеты прогибов отформованных профилей (швеллеров); формируют схемы углов крутки профилей после формовки; анализируют зависимости предельных углов подгибки на предварительных переходах; исследуют амплитуды краевой волнистости и продольной кривизны профилей; устанавливают факторы и интервалы варьирования поперечных сечений профилей и сравнивают экспериментальные данные с теоретическими расчетами и др.

Ключевые слова: продольные остаточные деформации, метод верификации, гнutoлистовые профили.

Для определения остаточных деформаций на профиле и в зонах плавного перехода при помощи отверстий выбираются отверстия, наносимые на исходную заготовку. После деформации измеряются размеры отверстий и сравниваются с исходными отверстиями. Отверстия пробиваются около кромок полок, подверженных наибольшей продольной деформации. Измерение проводится с помощью сканера. Уровень продольной деформации в очагах деформации и остаточной деформации на тонкостенных швеллерах находится в следующих пределах 50x40x0,6, 75x40x0,6, 28,5x28,5x0,6. Используемый материал – сталь 08кп. Технологические углы подгибки следующие: 20-45-62-76-93-90. Для интенсификации процесса профили получались за 4 перехода. Использовались 1-2-3-6 переходы. Профиль за 4 перехода получался в соответствии с требуемыми параметрами – полки не гофрили, и профиль не прогибался вниз.

Эксперимент проводился по следующей схеме:

Вдоль исходной заготовки пробивались по 6 овальных отверстий размером 15x4 мм с шагом 35 мм с каждой стороны. Заготовку прокатывали в роликах на станке ГПС-300М4. Измеряли размеры отверстий и высчитывали деформации.

Были исследованы следующие зоны на профиле:

Ось калибра роликов находилась на уровне 3 отверстия. Направление профилирования от 1 отверстия к 6-му. Данные были сведены в табл. 1.

Попов Сергей Петрович, доктор технических наук, ведущий инженер.

Соколова Ольга Федоровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экономика, управление и информатика».

Рыжаков Станислав Геннадьевич, кандидат технических наук, Зам. Главного конструктора, директор.

E-mail: ufkbtu@mc.ru.

По этим значениям был построен график (рис. 1).

Данные измерения сопоставлены с расчетными теоретическими величинами продольных деформаций в очагах деформации и остаточных в готовых профилях. Средние экспериментальные значения продольных остаточных деформаций растяжения отличаются от теоретических на 10 – 20%, однако, разброс значений продольных деформаций в зонах плавных переходов (рис. 1) позволяет принять данный экспериментальный метод как приближенный (оценочный).

Верификация рассчитанных продольных остаточных деформаций в элементах тонкостенных профилей косвенными экспериментальными методами проводилась на основе теоретических расчетов прогибов симметричных профилей и скрутки асимметричных от накопленных в подгибаемых элементах продольных деформаций растяжения.

При замерах прогибов у всех отформованных профилей швеллерного сечения отрезались концевые участки по 400 – 600 мм и подготовленные таким образом профили 1 (рис. 2) укладывались на поверочную плиту 2, где прогибы замерялись с помощью универсальной индикаторной стойки 3 (ГОСТ 9696-82). Методы измерения отклонения формы проводились в соответствии с ГОСТ 26877-86.

Для эксперимента выбирались швеллеры из стали 08кп следующих поперечных сечений (ширина × высота × толщина): 12x11x1; 20x15x(1;1,5); 21,5x17,5x1; 28,5x28,5x0,5; 30,5x12x(1,5;2,0); 31,5x25x1,5; 35x20x(1,0;1,5); 45x30x(1,0;1,5); 50x40x0,5; 60x38x2; 75x40x0,5; 100x20x1,0; 100x40x0,5; 150x40x(1,0; 1,5) и др.

Таблица 1. Исследуемые зоны

Исследуемая зона	Используемые переходы	Номер образца
полка профиля после выхода из последнего перехода	1-2-3-6	1 и 2
плавная зона 1 перехода	0-1	3 и 4
плавная зона 2 перехода	1-2	5 и 6
плавная зона 3 перехода без 2-го	1-3	7 и 8

Таблица 2. Обработка результатов измерений продольных деформаций

№ образца								средние
10		14,214	14,2957	14,0656	14,1892	14,2787	14,1713	
9		14,2774	14,2786	14,1505	14,2799	14,2861	14,1319	
	средние значения	14,2457	14,28715	14,10805	14,23455	14,2824	14,1516	
8		14,2961	14,3353	14,3815	14,4268	14,2011	14,3226	
7		14,4159	14,3125	14,263	14,3309	14,42	14,1622	
	средние значения деформации	14,356	14,3239	14,32225	14,37885	14,31055	14,2424	
		0,774269	0,257224	1,518282	1,013731	0,197096	0,64162	0,73370
6		14,3543	14,5118	14,3553	14,3296	14,3619	14,3808	
5		14,3733	14,4443	14,3236	14,3599	14,4122	14,3255	
	средние значения деформации	14,3638	14,47805	14,33945	14,34475	14,38705	14,3531	
		0,829022	1,336166	1,640198	0,774173	0,73272	1,42422	1,12275
4		14,408	14,4812	14,2928	14,3739	14,4284	14,3292	
3		14,3794	14,3658	14,3079	14,329	14,4566	14,4211	
	средние значения деформации	14,3937	14,4235	14,30035	14,35145	14,4425	14,3751	
		1,03891	0,954354	1,363052	0,821241	1,12096	1,57968	1,14636
2		14,3029	14,3072	14,1654	14,3494	14,2974	14,1718	
1		14,3386	14,4696	14,2957	14,3948	14,3361	14,2881	
	средние значения деформации	14,32075	14,3884	14,23055	14,3721	14,31675	14,2299	
		0,526826	0,708679	0,868299	0,966311	0,240506	0,55364	0,64404

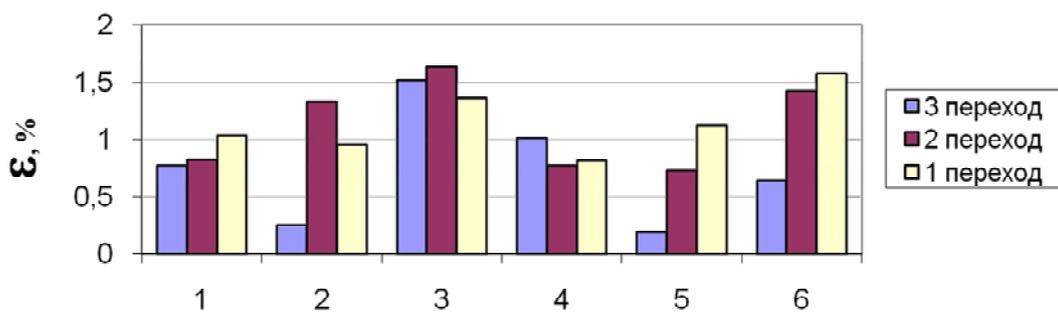


Рис. 1. Распределение продольных деформаций по длине зоны плавного перехода

Роликовая оснастка для изготовления этих профилей состояла из 4-х или 6-и пар, поэтому для интенсификации процесса формообразования в экспериментах не использовались некоторые переходы и формовали по схемам 1-3-4, 2-3-4, 2-4 и др. в результате чего были получены следующие углы подгибки за проход $\Delta\alpha, ^\circ$: $20 \pm 2^\circ$; $30 \pm 2^\circ$; $40 \pm 2^\circ$. Результаты измерений сравнивались с теоретически рассчитанными значениями прогибов, что изображено на графиках (рис. 3).

Таким образом, на более чем 50 типоразмерах профилей швеллерного сечения были апро-

бированы теоретические результаты косвенного определения уровня остаточных деформаций растяжения в полках, при этом данные эксперимента неплохо согласуются с расчетными (разница не более 10 – 20 %) и имеют несколько заниженные значения.

Оценку накопленной деформации в полках Z-образных профилей после формообразования на предварительных переходах производили на основе измерения углов скручивания готовых профилей (рис. 4). Профили 1 выкатывали из последнего валкового перехода 2 и замеряли угол

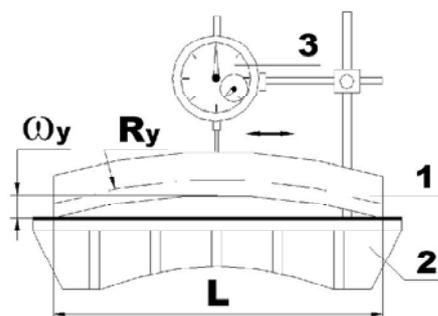


Рис. 2. Схема замеров прогибов профиля после формообразования

крутки φ угломером 3 (ГОСТ5378-66) установленным на станине станка ГПС на расстоянии L от осевой плоскости валковой пары 2. Таким образом, угол крутки на одном погонном метре равен $\varphi_{м.п} = \varphi \times 1/L$.

Проверка адекватности теоретических данных показана на рис. 5 для профилей с сечениями и наибольшими углами подгибки за проход

по интенсивным схемам, материал заготовок – Д16АМ толщиной 0,4; 0,8; 1,0 мм (см. табл. 1).

Как и при сопоставлении экспериментальных и теоретических данных для прогибов, значения углов крутки, найденные опытным путем несколько меньше расчетных на 15 – 25%. Большое отклонение наблюдается для тонкого материала ($s = 0,4$ мм). И в этом случае теоретический расчет углов скручивания дает верхние значения при полной разгрузке напряжений в криволинейных полках. Далее проводится анализ зависимости предельных углов подгибки при изготовлении профилей на предварительных переходах, где факторы, влияющие на возникновение амплитуды кромковой волнистости на переходах предварительного формообразования, напрямую связаны с неравномерностью распределения продольных остаточных деформаций растяжения по ширине подгибаемых элементов на предварительных переходах. Из-за сплошности металла подгибаемые полки в готовых профилях оказываются

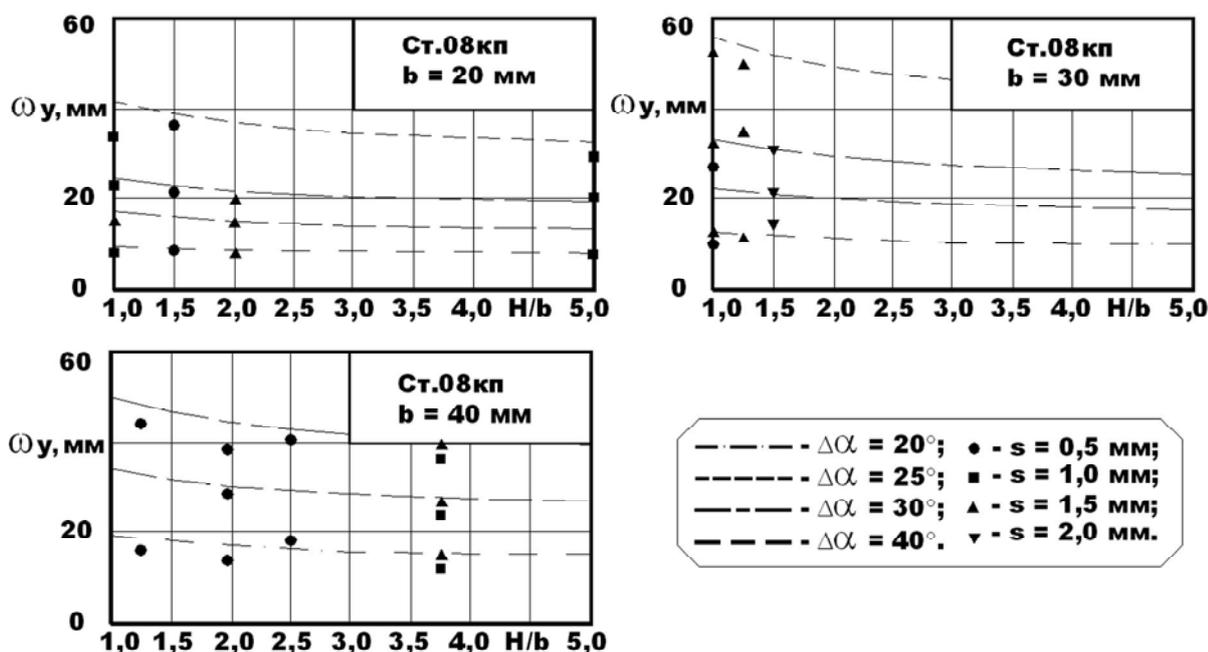


Рис. 3. Экспериментальная верификация теоретически рассчитанных прогибов отформованных швеллеров

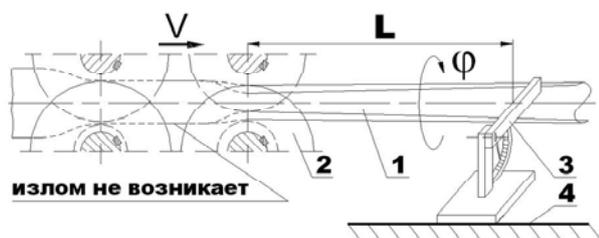


Рис. 4. Схема замеров углов крутки профиля после отформовки

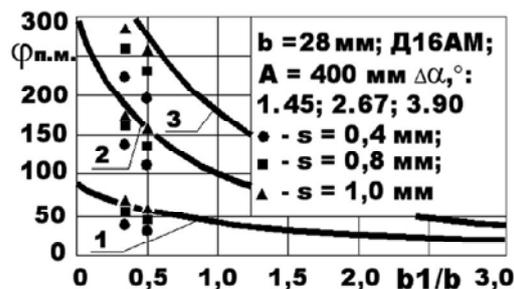


Рис. 5. Экспериментальная верификация теоретически рассчитанных углов крутки отформованных Z-образных профилей

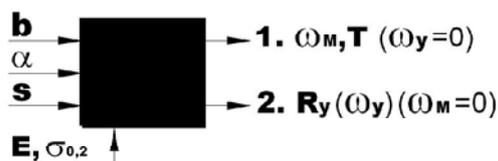


Рис. 6. Схема взаимосвязи в объекте исследований амплитуды краевой волнистости и продольной кривизны профиля

ся сжатыми и могут терять устойчивость как в межклетьевом промежутке, так и в очаге деформации правильного устройства (между окончательным переходом и рабочим элементом силового воздействия устройства для правки). Одновременно с прогибом возникают поводки типа саблевидности и крутки. Идентично симметричным профилям, при попытке выправить вышперечисленные дефекты непрямолинейности и неплоскостности профилей в продольном направлении, может произойти потеря устойчивости наиболее сжатых элементов поперечного сечения (причем как краевых, так и внутренних).

В технологических переходах окончательного формообразования при осадке волнообразной заготовки в валковой паре окончательного формообразования с целью создания сжато-напряженного состояния в уголкового зонах, усилия тангенциального сжатия передаются в зону сгиба через краевые элементы, то есть осуществляется торцевой подпор на заготовку со стороны элементов валков.

В связи с этим параметры уже кромковой волнистости зависят от множества факторов, таких как: схема формообразования – угол подгибки за проход α ; геометрические параметры полки – $(b, s, \text{радиус поперечной кривизны } R)$; параметры оборудования – межклетьевое расстояние (A) ; ширина заготовки – B ; механические свойства материала – (E, σ_s) ; продольные поводки готового профиля – прогиб, саблевидность, крутка (соответственно $\omega_y, \omega_x, \varphi$) (см. рис. 2 и рис. 4) (рис. 6); настроенные параметры оборудования и др.

Наиболее значимыми параметрами при разработке технологии признаны: угол подгибки за проход, ширина и толщина элемента.

Модель процесса для прямолинейных профилей (не имеющих прогиба и саблевидности – $\leq 1 \text{ мм/м}$ и крутки – $\leq 1^\circ/\text{м}$ (рис. 6 – вариант 1,

вариант 2 исследовался в предыдущем подразделе)) можно представить функцией отклика:

$$y = f(b, s, \alpha). \tag{1}$$

Уровни факторов и интервалы варьирования выбраны по результатам предварительных поисковых экспериментов и приведены в табл. 3. Схема замеров амплитуды и периода волнистости полки профиля и поперечное сечение исследуемого профиля изображены на рис. 7 ($\alpha_n = 90^\circ$).

Каждый опыт в плане факторного эксперимента ставился в нескольких повторах, и число их в каждом варианте опыта одинаково ($n = 3$). Для каждой строки матрицы планирования определяем:

- среднее арифметическое значение и построчные дисперсии воспроизводимости единичного результата:

$$\bar{y}_u = \sum_{k=1}^n y_{ku} / n ;$$

$$S^2_{(y_{ku})} = \sum_{k=1}^n (y_{ku} - \bar{y}_u)^2 / (n - 1), \tag{2}$$

где n – число повторностей в определении \bar{y}_u ; k – номер повторности в каждой строке; u – номер строки в плане эксперимента.

- среднюю (среднеарифметическую) для всего эксперимента дисперсию воспроизводимости единичного результата:

$$S^2_{(y_k)} = \sum_{u=1}^N \sum_{k=1}^n (y_{ku} - \bar{y}_u)^2 / N(n - 1) [1]. \tag{3}$$

- среднюю для всего эксперимента дисперсию воспроизводимости среднего значения выхода процесса (параметра оптимизации):

$$S^2_{(\bar{y})} = \sum_{u=1}^N \sum_{k=1}^n (y_{ku} - \bar{y}_u)^2 / N(n - 1) \cdot n. \tag{4}$$

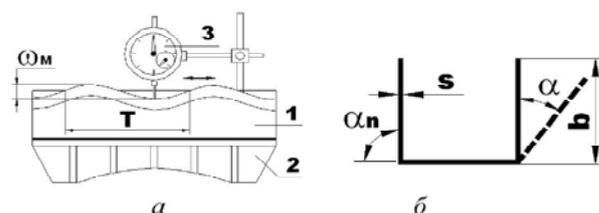


Рис. 7. Схема замера волнистости полки (а) и поперечное сечение исследуемого профиля (б)

Таблица 3. Уровни факторов и интервалы варьирования

Значения факторов	X ₁	X ₂	X ₃
	b, мм	s, мм	$\alpha, ^\circ$
Основной уровень (0)	40	0,8	30
Интервал варьирования	10	0,2	10
Нижний уровень(-1)	30	0,6	20
Верхний уровень(+1)	50	1,0	40

Таблица 4. План и результаты ПФЭ 2³

№	Основные столбцы			Вспомогательные столбцы				Выход процесса				Дисперсия
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₂ X ₃	X ₁ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	y _{1u1}	y _{1u2}	y _{1u3}	y _{1u}	s ² (?ku)
	b	s	α									
1	-	-	-	+	+	+	-	1.3	1.5	1.3	1.367	0.013
2	+	-	-	-	+	-	+	2.2	2	2.1	2.1	0.01
3	-	+	-	-	-	+	+	0	0.1	0	0.033	0.0033
4	+	+	-	+	-	-	-	1.1	1.2	1.2	1.167	0.0033
5	-	-	+	+	-	-	+	3.1	2.8	3	2.967	0.023
6	+	-	+	-	-	+	-	5.1	4.8	5.1	5	0.03
7	-	+	+	-	+	-	-	3.1	2.9	3	3	0.01
8	+	+	+	+	+	+	+	4.4	4.5	4.6	4.5	0.001

Дисперсию коэффициентов уравнения регрессии и ошибку коэффициентов регрессии определим по формулам:

$$S^2_{(bi)} = S^2_{(y)} \cdot N^{-1}; S_{(bi)} = \sqrt{S^2_{(bi)}} [2]. \quad (5)$$

По результатам поставленного по этому плану эксперимента рассчитываются 8 коэффициентов уравнения регрессии

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (6)$$

Коэффициенты регрессии b_i можно считать отличными от нуля (т.е. значимыми), если выполняется следующее неравенство:

$$|b_i| > t\sqrt{S^2_{(bi)}}, \quad (7)$$

где величина t – t -критерий (критерий Стьюдента), значение которого зависит от принятого уровня значимости и числа степеней свободы $f = (n-1)N = (3-1) \cdot 8 = 16$. Для уровня значимости 0,05 ($\alpha = 0,95$ и $f = 16$) – $t = 2,12$ [1].

В математической среде *MathCAD2001i* были произведены необходимые расчеты с целью получения линейных уравнений регрессии. Графические зависимости уравнений регрессии показаны на рис. 8, где рис. 8а – зависимость амплитуды кромковой волнистости от ширины подгибаемого элемента при $s = 0,6$ мм; $\alpha = 40^\circ$; рис. 8б – зависимость амплитуды кромковой

волнистости от толщины заготовки при $\alpha = 40^\circ$; $b = 50$ мм; рис. 8в – зависимость амплитуды кромковой волнистости от угла подгибки за проход при $s = 0,6$ мм; $b = 50$ мм.

Наблюдается различие (в сторону уменьшения) величины амплитуды экспериментальных замеров кромковой волнистости ω_M по сравнению с теоретическими значениями – особо для диапазона $b/s \leq 20$ (рис. 9). Влияние толщины заготовки s на амплитуду волнистости ω_M (при прочих равных условиях) объясняется неполной разгрузкой напряжений сжатия при уменьшении параметра тонкостенности $b/s \leq 20 - 25$. Таким образом, зависимость ω_M является лишь оценочной и показывает наиболее возможную величину амплитуды волнистости (верхний предел), что и необходимо для определения годности профиля в соответствии с заданными точностными характеристиками на отклонение формы (если они вообще возможны).

Адекватность теоретических расчетов предельных режимов формообразования криволинейных подгибаемых полок и амплитуды периодических изломов, возникающих в случае их превышения проверена на Z-образных профилях с сечениями, формуемых по схемам, отображенным в табл.1. Материал заготовок Д16АМ толщиной 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0 мм.

Уровни факторов и интервалы варьирования приведены в табл. 5.

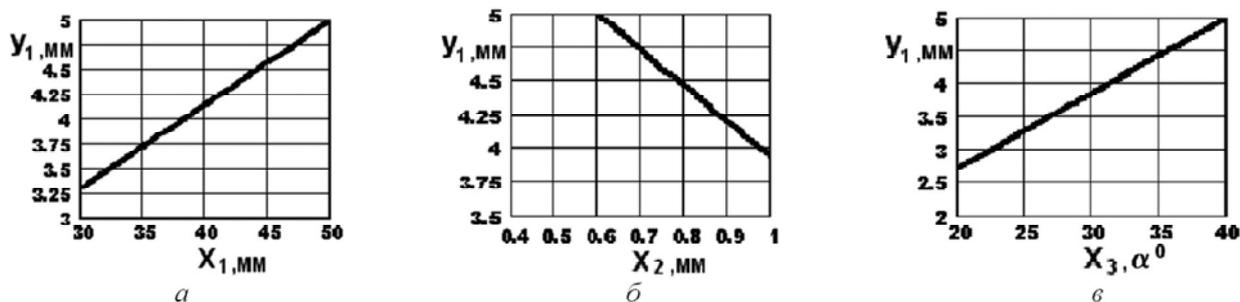


Рис. 8. Графики уравнений регрессии: а – зависимость $\omega_M = \omega_M(b)$; б – зависимость $\omega_M = \omega_M(s)$; в – зависимость $\omega_M = \omega_M(\alpha)$

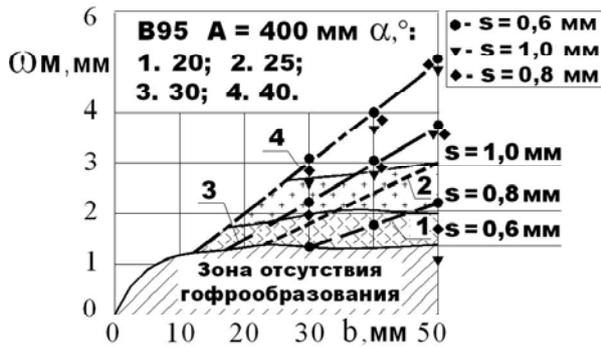


Рис. 9. Сравнение экспериментальных данных с теоретическим расчетом амплитуды кромковой волнистости

В математической среде *MathCAD2001i* были произведены необходимые расчеты с целью получения линейных уравнений регрессии. Графические зависимости уравнений регрессии показаны на рис. 10, где рис. 10а – зависимость амплитуды изломов от ширины подгибаемого элемента при $s = 0,4$ мм; $\alpha = 90^\circ$; рис. 10б – зависимость амплитуды от толщины заготовки при

$\alpha = 90^\circ$; $b = 25,5$ мм; рис. 10в – зависимость амплитуды от угла подгибки за проход при $s = 0,4$ мм; $b = 25,5$ мм.

Для полок, представляющих собой в поперечном сечении круговые секторы, на графике рис. 11а показаны в виде кривых 1, 2, 3 предельные углы подгибки элементов с толщиной заготовки соответственно 0,4; 0,5; 0,6 мм. Откуда видно, что полки шириной $b = 23$ и 28 мм (на изучаемых профилях) подгибаемые на угол 90° не теряют устойчивость при $s = 0,6$ мм, что подтверждено опытами. На рис. 11б,в проводится сопоставление опытных данных с теоретическими по вычислению амплитуды периодических изломов ($T \approx 60$ мм) в зависимости от длины излома l (кривые 1, 2, 3). Образцы тонкостенных профилей с изломами полок видны на рис. 11г.

Верность теоретических расчетов подтверждается с точностью 20 – 25 %.

После верификации теоретических и экспериментальных образцов профилей выполняется анализ процесса формообразования минимальных внутренних радиусов при изготовлении про-

Таблица 5. Уровни факторов и интервалы варьирования

Значения факторов	X_1	X_2	X_3
	b, мм	s, мм	$\alpha, ^\circ$
Основной уровень (0)	25,5	0,45	78,5
Интервал варьирования	2,5	0,05	11,5
Нижний уровень(-1)	23	0,4	67
Верхний уровень(+1)	28	0,5	90

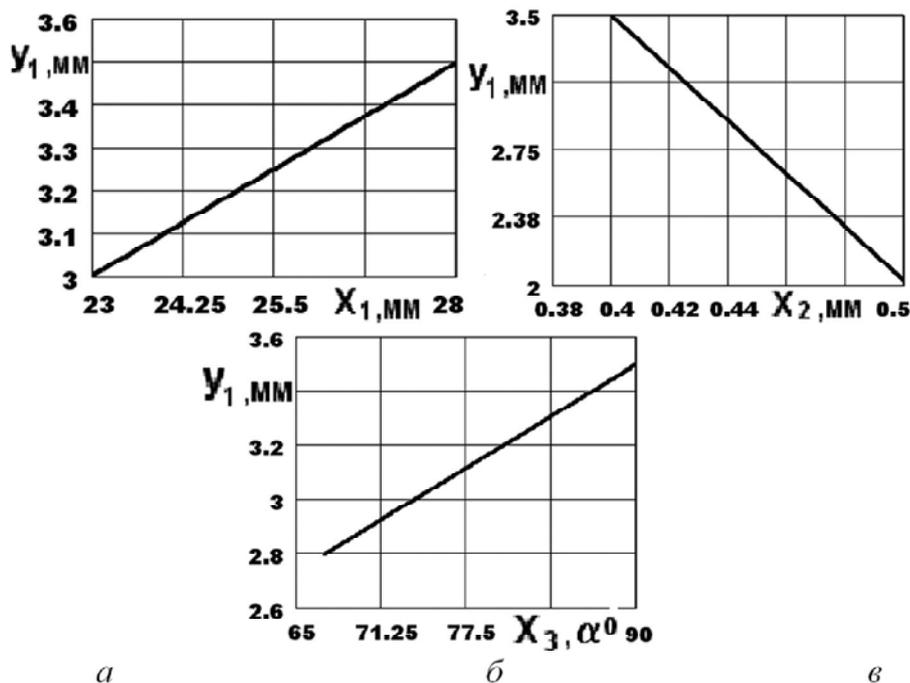


Рис. 10. Графики уравнений регрессии: а – зависимость $\omega_M = \omega_M(b)$; б – зависимость $\omega_M = \omega_M(s)$; в – зависимость $\omega_M = \omega_M(\alpha)$

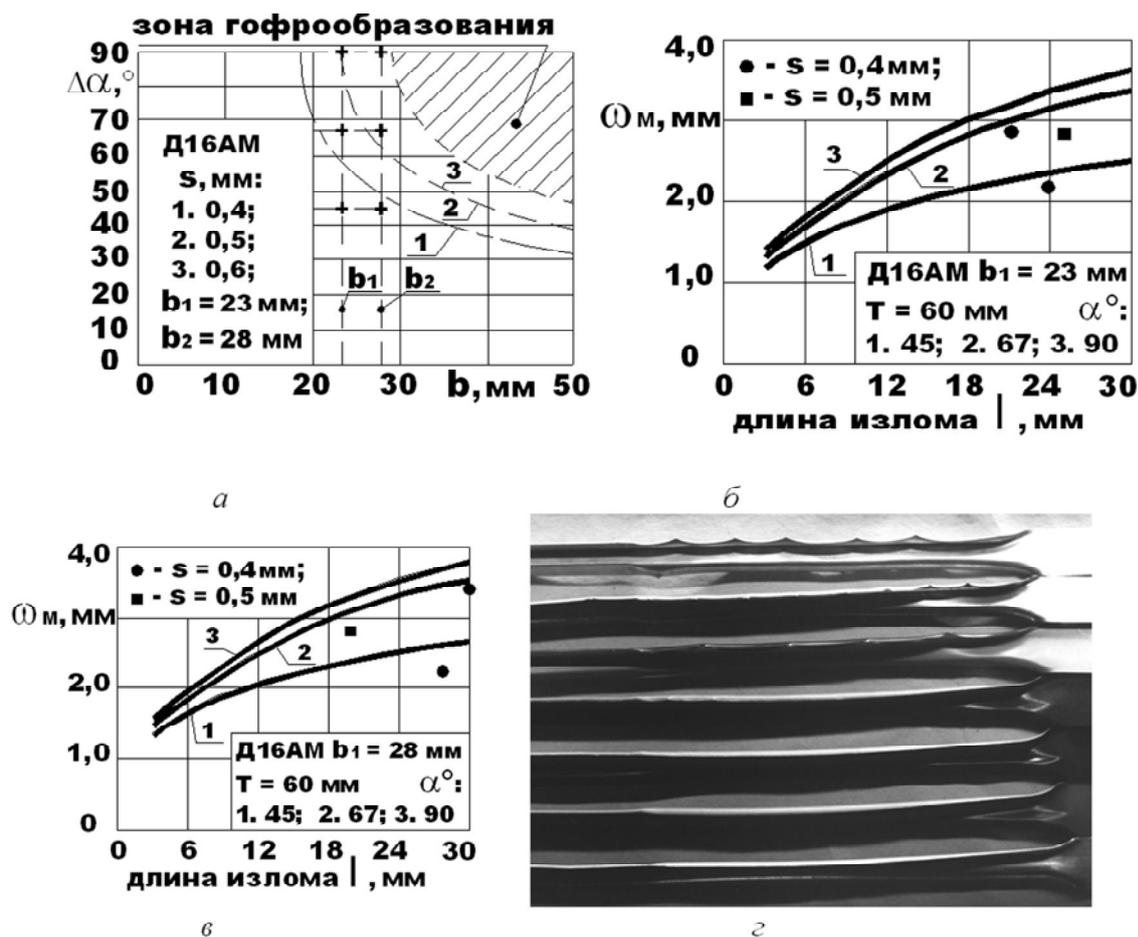


Рис. 11. Верификация теоретически рассчитанных предельных углов подгибки (а) и амплитуды периодических

филей, где анализ процесса формообразования минимальных внутренних радиусов проводился на тонкостенных швеллерах с полками шириной 20; 30; 40 мм и толщиной 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5 мм. Вначале были получены качественные профили без волнистости с минимальными поводками ($\omega_y, \omega_x \leq 1 \text{ мм/м.п.}, \varphi_j \leq 1^\circ/\text{м.п.}$). По трапециевидной заготовке вырубленной на гильотинных ножницах (НГГ-12) подбиралась максимальная ширина развертки Bz_0 , при которой ширина полки и радиусы зон сгиба не изменялись на окончательном переходе $b_i = b_{i-1} = const, r_i = r_{i-1} = const$ (рис. 12), то есть уступы верхнего валька касались торцов полосы но не осаживали их. Далее увеличивали ширину заготовки каждый раз на величину шага $t, \text{мм}: 0,4 - 0,5 \text{ мм}$ для швеллеров с $s \leq 0,8 \text{ мм}$ и $0,5 - 1,0 \text{ мм}$ для швеллеров с $s \geq 0,8 \text{ мм}$. Раскрой полос выполнялся на дисковых ножницах (ДИН-600) с точностью $\pm 0,1 \text{ мм}$. Полосы формовались в профили на станке ГПС-350М6. При каждом увеличении ширины заготовки производились замеры: ширины полки и внутренних радиусов зон сгиба (сопряжения полки со стенкой швеллера) соответственно после предварительного b_{i-1}, r_{i-1} и окончательного b_i, r_i переходов (штангенциркуль ШЦ-250 по ГОСТ427-75,

набор радиусных шаблонов N1 по ГОСТ4126-66). В результате дальнейшего увеличения ширины заготовки на предельную (критическую) величину ΔBz_{np} , определяли наименьшие значения радиусов зон сгиба после окончательного перехода $r_{i_{min}}$, при которых начинается возникновение волнистости полки. Для более точного определения внутренних радиусов зон сгиба производили сканирование поперечного сечения образцов профилей длиной 8 – 12 мм.

Результат верификации данных по определению предельных режимов осадки торцов полки тонкостенных швеллеров с целью достижения

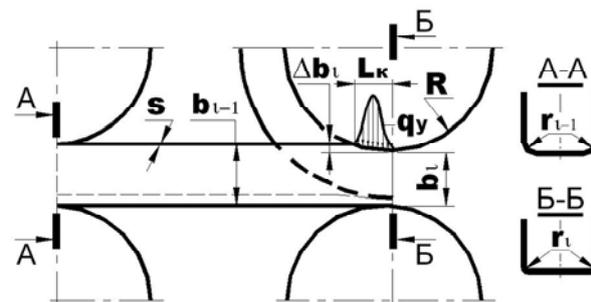


Рис. 12. Исследование предельных возможностей процесса осадки торцов профиля с целью получения наименьших радиусов зон сгиба



Рис. 13. Экспериментальная проверка адекватности теории по определению минимальных радиусов зон сгиба для профилей швеллерного сечения $r_{i \min}$

минимальных радиусов зон сгиба показал отличие теоретических и экспериментальных данных в пределах 10 – 25% для исследуемого диапазона ширины и толщины сжимаемых полок.

Результат сравнения теоретических и экспериментальных данных по определению наименьших радиусов зон сгиба $r_{i \min}$ показан на рис. 13.

Таким образом, следует отметить, что определена и проверена адекватность теоретических зависимостей длины распространения очагов деформации, и изменения углов подгибки (особенно по кромкам), позволяющая оценить и уточнить параметры плоских, многоэлементных и криволинейных в плане периферийных подгибаемых элементов в межклетьевом промежутке

при интенсивном формообразовании тонкостенных профилей на предварительных переходах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елескина Е.В. Повышение эффективности технологического процесса изготовления профилей с помощью полиуретана при стесненном изгибе. Дисс. ... канд. техн. наук. 05.02.09 – “Технология и машины обработки давлением” на соискание ученой степени кандидата технических наук. Самара, 2010. С. 148.
2. Перфильев О.В. Совершенствование технологии изготовления гнутолистовых профилей авиационных конструкций стесненным изгибом. Дисс. ... канд. техн. наук. 05.07.02 – “Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов”. Самара: СГАУ, 2011. С. 164.

ESTIMATION OF THE LEVEL OF LONGITUDINAL RESIDUAL DEFORMATIONS IN ELEMENTS BENT OF STRUCTURES DURING THEIR MANUFACTURING

© 2011 S.P. Popov¹, O.F. Sokolova², S.G. Ryzhakov¹

¹ Open Society “Tupolev”, Ulyanovsk Design Bureau

² Institute of Aviation Technologies and Managements, Ulyanovsk State Technical University

In clause authors spend also a method of verification analyze a level of limiting residual deformations, in view of results of processing of measurements on lengths of zones of smooth transition in places of a deflection of structures at education of forms; spend experimental and theoretical calculations of deflections of the formed structures (channels); form schemes of corners torsions structures after giving of the form; analyze dependences of limiting corners bend on preliminary transitions; investigate amplitudes of a regional sinuosity and longitudinal curvature of structures; establish factors and intervals of a variation of cross-section sections of structures and compare experimental data to theoretical calculations, etc.

Key words: longitudinal residual deformations, method of verification, bent of structures.

Sergey Popov, Doctor of Technics, Leading Engineer.
Olga Sokolova, Candidate of Technics, Associate Professor at the Economy, Management and Computer Science Department.
Stanislav Ryzhakov, Candidate of Technics, Deputy Chief Designer, Director. E-mail: ufkbtu@mv.ru.