



*There are given the results of theoretical and experimental investigations on determination of actual value of widening and the side surface line of end sections of spring ingot of variable thickness to auxiliaries. There is shown up that, it is possible to change the geometry of the bar side line after rolling, modifying by the parameters of the initial side line of bar.*

Л. А. ИСАЕВИЧ, А. Г. ГЕРАСИМОВА, БНТУ, М. И. СИДОРЕНКО, РУП «МАЗ»

УДК 621.771

## РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕССОРНОЙ ЗАГОТОВКИ И ВЛИЯНИЕ ЕГО НА ВЕЛИЧИНУ УШИРЕНИЯ

Малолитовые рессоры из листов переменной толщины, широко применяемые в последнее время в автомобилестроении, обладают рядом преимуществ (уменьшение металлоемкости, увеличение плавности хода и ресурса эксплуатации автомобиля в целом) по сравнению с традиционно применяемыми многолистовыми рессорами.

Один из способов производства рессорных листов переменной толщины [1], а также разработанные на его основе технология и оборудование внедрены на Минском рессорном заводе и при-

меняются в производстве малолитовых рессор для большегрузных автомобилей. Отличие данного способа от ранее известных заключается в том, что профилирование полосовых заготовок обеспечивается соответствующим контуром рабочих поверхностей подвижной оправки. Этот способ отличается высокой производительностью, простотой оборудования и надежностью его работы. Однако в процессе его реализации выявился существенный недостаток – уширение концевых частей полосы, связанный с изменением обжатия по ее длине (рис. 1).

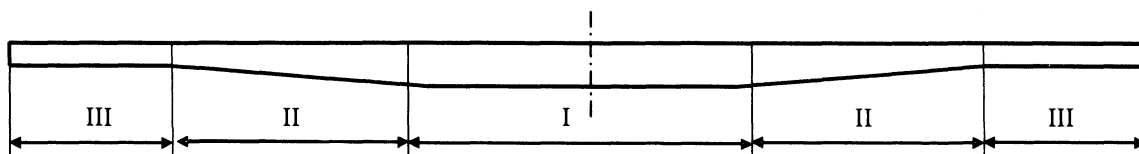


Рис. 1. Форма профилированной заготовки малолитовой рессоры: I – центральная часть; II – параболический или клиновидный профиль; III – концевые гладкие участки

Важным показателем рессорных заготовок, определяющим экономию металла при их производстве, является обеспечение точных геометрических размеров профиля по длине полосы. В то же время уширение концевых участков приводит к тому, что для получения точных размеров по ширине требуется еще дополнительная операция – фрезерование или обрезка концов прокатанной полосы по ширине.

Исходя из сказанного выше, целью данной работы является определение фактического значения уширения при существующей технологии и разработка способов, позволяющих его значительно снизить.

Расчет уширения на концевых участках полосы осуществляли двумя способами.

Согласно первому способу, расчет уширения проводили по правилу наименьшего сопротивления [2]. При прокатке зона очага деформации в плане представляет собой трапецию высотой, равной длине зоны деформации, и средней шириной, равной полусумме ширины полосы до и после прокатки. Деформацию при прокатке можно ка-

чественно рассматривать как осадку параллелепипеда с указанными размерами (шириной, длиной и высотой очага деформации) [3]. При осадке параллелепипеда с трением на контактной поверхности последнее создает разное сопротивление течению в направлении длинной и короткой сторон прямоугольника (большее в направлении длинной стороны и меньшее в направлении короткой) [2].

В случае прокатки ширина очага деформации является длинной стороной, а проекция длины дуги захвата – короткой. Исходя из этого, коэффициент деформации в направлении длинной стороны, который служит коэффициентом уширения полосы, можно определить как [2]

$$\beta = \sqrt{1 + \frac{l_0}{b_0} \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)}, \quad (1)$$

где  $l_0$  – проекция длины дуги захвата;  $b_0$  – начальная ширина заготовки.

Согласно второму способу, коэффициент вытяжки определяли по формуле Киселенко [4]:

$$\lambda - 1 = \frac{\lambda_m - 1}{1 + \frac{f}{\sqrt{3}} \frac{D_0}{\sqrt{S_0}} \frac{h_0}{b_0}}, \quad (2)$$

где  $\lambda_m$  – коэффициент вытяжки при прокатке без уширения (максимально возможный коэффициент вытяжки);  $f$  – коэффициент контактного трения;  $D_0$  – диаметр валков;  $S_0$  – площадь поперечного сечения полосы до прокатки;  $h_0$  – начальная высота заготовки;  $b_0$  – начальная ширина полосы.

Для расчета коэффициента уширения на концах полосы использовали условие постоянства объема [2]

$$\eta_{лв} = 1, \quad (3)$$

Способ расчета	1-й проход			2-й проход		
	$\eta$	$\beta$	$b_1$	$\eta$	$\beta$	$b_1$
Первый	0,680	1,066	95,94	0,660	1,057	101,41
Второй	0,680	1,042	93,78	0,660	1,049	98,37
Экспериментальные данные	0,680	1,039	93,50	0,660	1,048	98,00

Сравнивая результаты расчетов, которые проводили по двум способам, с экспериментальными данными, установили, что для определения величины уширения больше подходит второй способ. Однако для точности расчета уширения необходимо еще учесть, что исходный контур боковой поверхности заготовки имеет не прямоугольный профиль, а параболический. Для теоретического анализа по определению формы боковой поверхности полосы, прокатанной с переменным обжатием, использовали вариационный метод исчисления [5]. При расчетах приняты следующие допущения:

- будем полагать, что искривление контура боковой поверхности имеет параболический характер;

- в связи с трудностью расчета работу перепада металла с боковой поверхности на контактную заменили эквивалентной работой сил контактного трения;

- принимали, что по всей контактной поверхности происходит смещение металла относительно инструмента.

При этом усредненные касательные напряжения на контактной поверхности примем равными [5]

$$\tau = \tau_s \left( f + \frac{1}{8} \frac{b}{h} (1 - f) \sqrt{f} \right), \quad (5)$$

где  $\tau_s$  – предел текучести на сдвиг;  $f$  – коэффициент контактного трения;  $b$  – средняя ширина полосы;  $h$  – средняя высота полосы.

где  $\eta$  – коэффициент обжатия, который задается параметрами готовой рессорной полосы;  $\lambda$ ,  $\beta$  – соответственно коэффициент вытяжки и уширения.

Откуда

$$\beta = \frac{1}{\eta \lambda}. \quad (4)$$

Подставив (2) в (4), получим формулу для определения уширения.

Для подтверждения теоретических расчетов была проведена серия экспериментов на модельных образцах из свинца размерами  $h_0=22$  мм,  $b_0=90$  мм. Полосу прокатывали в два прохода:  $\Delta h_1=7$  мм,  $\Delta h_2=5$  мм.

Результаты экспериментальных и расчетных данных приведены в таблице.

В соответствии с принятыми допущениями и выбранной системой координат (рис. 2) поперечное перемещение может быть записано в виде функции [5]

$$U_x = a_0 x + ax \left( 1 - \frac{3y^2}{h^2} \right) \left( 1 - \frac{1}{3} \frac{x^2}{b^2} \right). \quad (6)$$

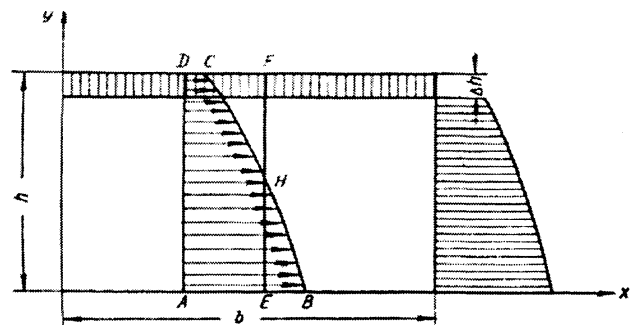


Рис. 2. Схема к выбору функции  $U_x$

После подстановки  $U_{x/x=b}$  в уравнение (6), интегрирования, простых преобразований в случае плоской задачи  $\epsilon_b = \epsilon_h$  получаем

$$a_0 = \frac{\Delta h}{h} = \epsilon_h, \quad (7)$$

где  $\epsilon_h$  – относительное обжатие.

Форма боковой поверхности после обжатия определяется уравнением (6). Однако это уравнение содержит один неизвестный параметр  $a$ , для его определения используется принцип минимума полной энергии деформации, с учетом которого получено выражение [5]

$$\frac{a}{\varepsilon} = \frac{0,416\psi \frac{b}{h}}{0,213 + 0,648 \frac{b^2}{h^2} + 0,026 \frac{h^2}{b^2}}, \quad (8)$$

где  $\psi$  – коэффициент, определяемый по выражению:

$$\psi = f + \frac{1}{8} \frac{b}{h} (1-f) \sqrt{f}. \quad (9)$$

При решении объемной задачи необходимо учитывать влияние вытяжки. В данном случае  $\varepsilon_b \neq \varepsilon_h$  и формула (6) примет вид

$$U_x = \varepsilon_b x + ax \left(1 - \frac{3y^2}{h^2}\right) \left(1 - \frac{1}{3} \frac{x^2}{b^2}\right), \quad (10)$$

где  $\varepsilon_b$  – относительное уширение.

При деформациях более 15–20% следует пользоваться коэффициентами деформации. Исходя из этого,

$$\varepsilon_b = \frac{b - b_0}{b_0} = \frac{\beta b_0 - b_0}{b_0} = \beta - 1. \quad (11)$$

Подставляя значение (11) в формулу (10), получаем уравнение для определения формы боковой поверхности полосы после обжатия

$$U_x = (\beta - 1)x + ax \left(1 - \frac{3y^2}{h^2}\right) \left(1 - \frac{1}{3} \frac{x^2}{b^2}\right). \quad (12)$$

Решая уравнение (12), получаем значение поперечного перемещения при наличии объемной схемы деформации.

Расчеты проводили для определения формы боковой поверхности полос с начальным прямоугольным и параболическим контурами. С учетом технологии изготовления рессорных заготовок и конструкции стана обжатие производили в две стадии. Результаты теоретического анализа показаны на рис. 3, 4.

Анализируя результаты теоретического расчета, можно сделать вывод, что при прокатке полосы с параболическим исходным контуром боковой поверхности объем металла, идущий на уширение, меньше, чем при прокатке полосы с прямоугольным контуром.

С целью устранения дефектов концов полосы, уменьшения уширения концевых участков полосы и увеличения выхода годного изменяли геометрию исходного бокового профиля полосы путем пластического деформирования (обжатия концов полосы по ширине). В одном случае форму боковой поверхности полосы выполняли прямой, в другом – вогнутой (рис. 5, 6).

Форму поперечного сечения полосы после обжатия рассчитывали по формуле (12).

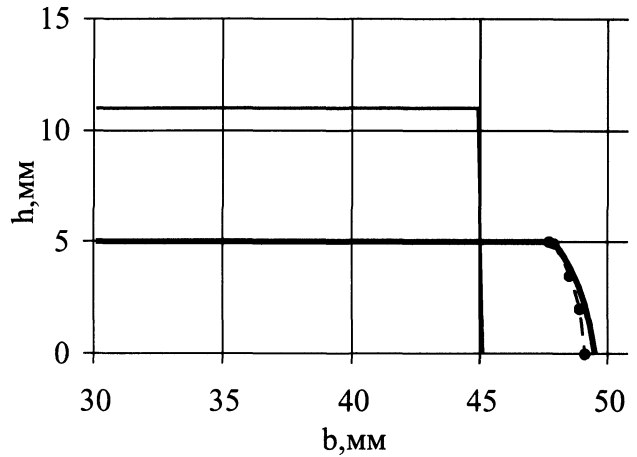


Рис. 3. Контур боковой поверхности полосы после прокатки с прямоугольным начальным профилем: ———— – исходный контур полосы; ————— – расчетный контур полосы после прокатки; - - - - - ● - - - - - экспериментальный контур полосы после прокатки

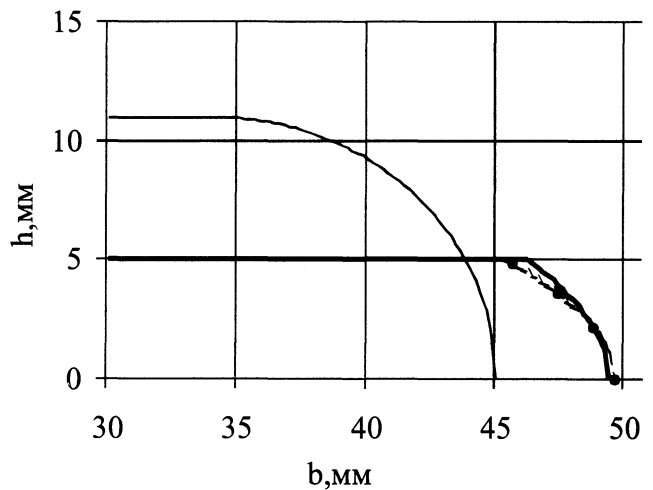


Рис. 4. Контур боковой поверхности полосы после прокатки с параболическим начальным профилем

Исходя из результатов расчетов (рис. 5, 6) следует, что, варьируя параметрами исходного бокового профиля полосы, можно изменять геометрию бокового контура полосы после прокатки.

Для проверки теоретического решения по определению формы боковой поверхности полосы были прокатаны четыре свинцовые заготовки размерами  $h_0=22$  мм,  $b_0=90$  мм,  $l_0=140$  мм. Первая и вторая полосы прокатаны без предварительного обжатия по ширине, одна с начальным прямоугольным контуром, вторая с параболическим. Третью и четвертую полосы перед прокаткой обжимали по ширине. В одном случае форму боковой поверхности полосы выполняли прямой, в другом – вогнутой. После прокатки определяли контур боковой поверхности полос.

Методика определения формы боковой поверхности полосы заключалась в следующем. Делали

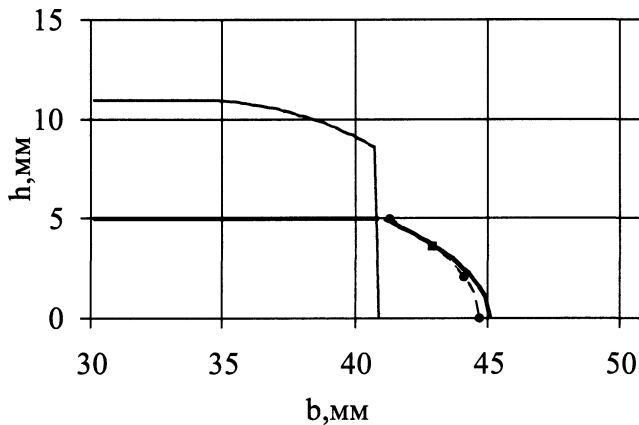


Рис. 5. Контур боковой поверхности полосы после прокатки с прямолинейным начальным профилем

поперечный разрез полосы. Потом разрезали его пополам вдоль ширины. Полученные образцы разделяли на три равные части по высоте и наносили параллельные риски. После этого измеряли длину рисок с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм. По полученным значениям строили контур боковой поверхности полосы после прокатки. Результаты опытных данных показаны на рис. 3–6.

Из сравнения экспериментальных и расчетных значений можно сделать вывод, что результаты опытов показали удовлетворительную сходимость с расчетами. Это доказывает правильную постановку теоретической задачи.

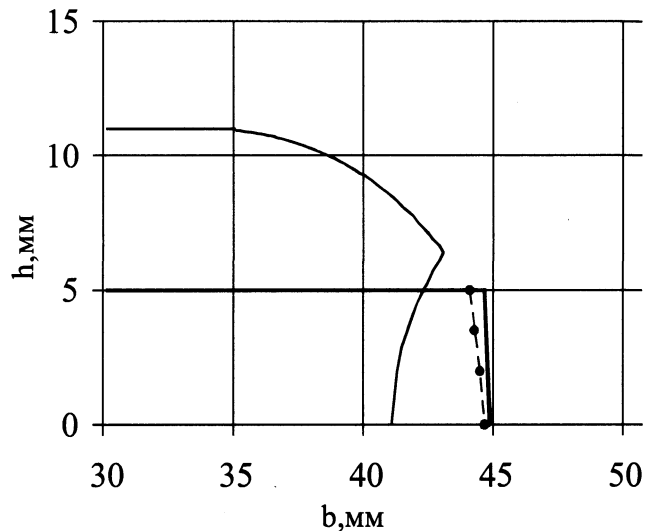


Рис. 6. Контур боковой поверхности полосы после прокатки с вогнутым начальным профилем

#### Литература

1. Степаненко А.В., Исаевич Л.А., Король В.А., Томило В.А. Изготовление полос переменной толщины для малолистовых рессор // КШП. 1997. № 6. С. 15–17.
2. Громов И.П. Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1978.
3. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. М.: Металлургия, 1980.
4. Киселенко И.А. Формула для определения вытяжки при сортовой прокатке // Техника машиностроения. 2002. № 2.
5. Тарновский И.Я., Позднеев А.А., Гонаго О.А. Теория обработки металлов давлением (Вариационные методы расчета усилий и деформации). М.: Металлургия, 1963.