

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРУЖИНЕНИЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ФОРМОВКЕ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА НА ПРЕССАХ

Боклаг Н.Ю.¹, Чечулин Ю.Б.¹, Песин Ю.В.¹, Кугаевский С.С.¹

¹ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19), e-mail: n.u.p@nm.ru

Выполнено математическое моделирование пружинения при изготовлении трубных заготовок труб большого диаметра УОЕ-методом. Показано, что величина хорды распружинивания определяет возможность размещения и позиционирования заготовки в технологическом инструменте прессы окончательной формовки. Получены зависимости для расчета хорды распружинивания для однорадиусного и двухрадиусного пуансонов. Разработан программный комплекс, позволяющий в диалоговом режиме выполнять многовариантные расчеты пружинения формируемой заготовки. С использованием данного комплекса показан пример расчета пружинения характерной заготовки для физической модели. Определены геометрические параметры заготовки после формовки двумя методами. Установлено, что погрешность замеров по растровым изображениям не превышает 2% по сравнению с замерами, полученными с помощью координатно-измерительных машин. Комплексная проверка на физической модели при варьировании в широком диапазоне основных параметров заготовки показала хорошую (в пределах 5%) сходимость значений, полученных расчетом, с результатами измерений.

Ключевые слова: математическое моделирование, пружинение металла, формовка труб большого диаметра, хорды распружинивания, программный комплекс, геометрические параметры заготовки после формовки.

SPRINGING AND GEOMETRICS ESTIMATION METHODOLOGY AT THE PRELIMINARY FORMATION OF A TUBULAR BILLET OF THE LARGE DIAMETER TUBES ON PRESS

Boklag N.U.¹, Chechulin U.B.¹, Pesin U.V.¹, Kugaevskiy S.S.¹

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, 19 Mira Street, Ekaterinburg, Russia), e-mail: n.u.p@nm.ru

Mathematical simulation of springing at large diameter tubes tubular billets production by UOE method has been carried out. It is presented, that a springing chord size defines ability of part placing and positioning in the process tool of final forming press. Relations for springing chord calculation for one radius and two radius punch are obtained. A software package for multivariant shaped billet springing calculation in a dialog mode is developed. An example of typical part springing calculation for physical model with using of this software package is shown. A part configuration after forming by two methods is determined. It is ascertained, that a measurement inaccuracy at the raster images is not more than two percent in comparison with measurements received by the instrumentality of the coordinate measuring machine. A complex inspection at the physical model by means of a wide range variation of workpiece basic parameters showed a good (not more than five percent) convergence of values received by calculation with measurement data.

Keywords: mathematical simulation, metal springing, large diameter pipes formation, springing chord, software package, part configuration after forming.

Точность формы и размеров прямошовных сварных труб большого диаметра (до 1420 мм) главным образом определяется минимальными их отклонениями от цилиндричности на стадии прессовой формовки. При формовке труб большого диаметра возникают искажения геометрии заготовок из-за пружинения, технологии изготовления (ребристость при пошаговой формовке) и др. Для установления влияния особенностей процесса формовки на качество изделий требуется получение расчетной модели, учитывающей параметры исходной заготовки и оборудования [6].

Наиболее производительным способом формообразования таких изделий из листовой заготовки является так называемый УОЕ-процесс [5]. Он включает три последовательные стадии (перехода) деформации: стадию предварительной подгибки кромок, стадию предварительной формовки u-образной заготовки и заключительную стадию.

Изготовление труб высокой точности требует получения минимальных отклонений от номинальных размеров на каждом из этих переходов. Ниже рассматривается вторая стадия предварительной формовки, для которой важно определить геометрию формующего инструмента и параметров настройки прессового оборудования с учетом конкретных механических свойств деформируемого металла, существенно влияющих на остаточные деформации (пружинение) получаемого изделия.

Одним из главных геометрических показателей изделий на стадии предварительной формовки является размер хорды а-а1 (рис. 1), который, в частности, определяет возможность размещения и позиционирования заготовки в технологическом инструменте прессы окончательной формовки и в конечном счете - геометрическую точность трубной заготовки под сварку.

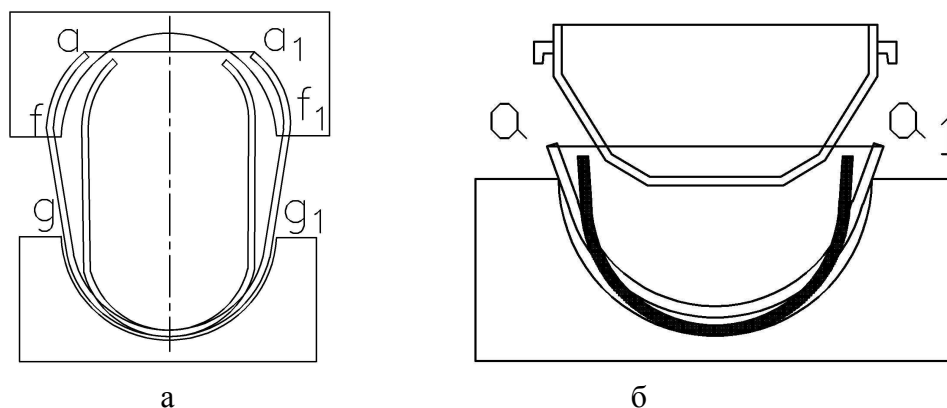


Рис. 1. Схема предварительной формовки труб: а – одношовной, б – двухшовной

Основными характеристиками, определяющими размер распружинивания а-а1, являются механические свойства материала изделия, соотношение его толщины стенки с радиусами технологического инструмента и начальная ширина исходного листа с учетом его необходимых последующих деформаций. С этой целью для стадии предварительной формовки нами разработан программный комплекс, позволяющий в диалоговом режиме выполнять расчет «пружинения» заготовки с учетом многовариантности вышеназванных факторов. В основу комплекса положены нижеследующие зависимости.

Угол пружинения определяется по формуле [3]:

$$\Delta\alpha = \frac{1}{E} \left(3\sigma_T + \Pi \frac{2s}{2r+s} \right) \left(1 + \frac{r}{s} \right) \alpha, \quad (1)$$

где: r - радиус пуансона;

s - толщина стенки;

α - угол формовки.

Радиус заготовки после снятия нагрузки может быть найден по зависимости [2]:

$$r_0 = r + \frac{r + 0,5s}{\frac{\alpha}{\Delta\alpha} - 1} \quad (2)$$

Ширина листа B_1 после строжки на кромкострогальном станке определяется по

зависимости [2]: для одношовной трубы $B_1 = \pi[D_t(1 - \Delta_P) - S_t](1 + \Delta_f) + k_s S_t$ (3)

и для двухшовной трубы $B_1 = 0,49\pi(D_t + 1) - 0,5\Delta_r - S_t$, (4)

где Δ_P учитывает раздачу в прессе-расширителе — $\Delta_P = 0,012 \dots 0,016$;

Δ_f - обжатие в прессе окончательной формовки — $\Delta_f = 0,003 \dots 0,016$;

k_s - коэффициент, учитывающий потери металла в зоне сварки на угар, разбрызгивание и образование грата — $k_s = 0,4 \text{—} 0,5$;

Δ_r - величина редуцирования при сварке — $\Delta_r = (8 \dots 9)$ мм

После подгибки кромок заготовка будет иметь вид, показанный на рис. 2.

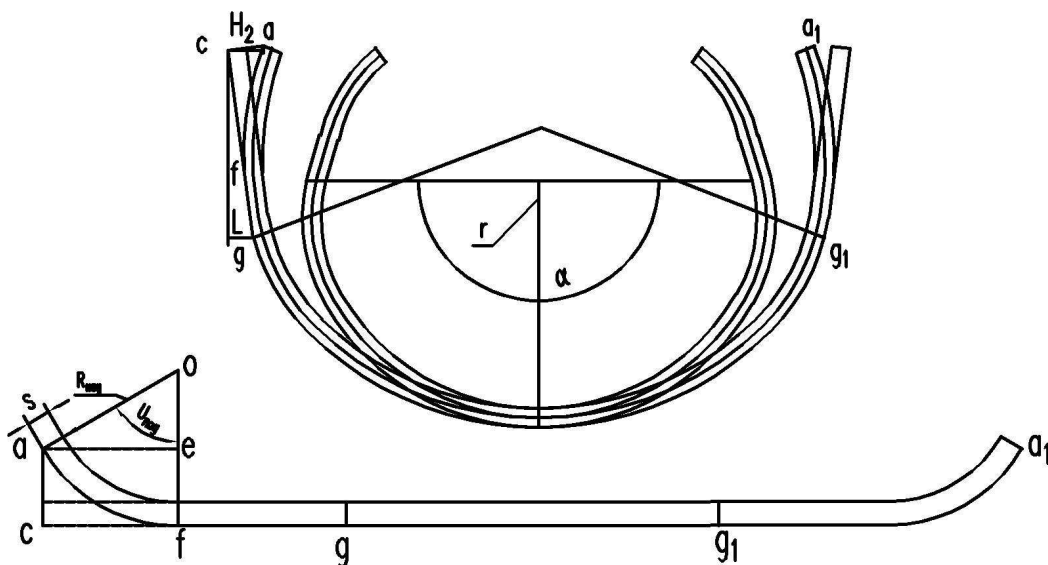


Рис. 2. Схема формовки заготовки однорядиусным пуансоном

Обозначения участков на рис. 1 соответствует обозначениям рис. 2. Длина участка gg_1 находится по формуле:

$$gg_1 = \alpha(r + 0,5S), \quad (5)$$

где α - угол охвата пуансона предварительной формовки заготовкой.

Длина участка подгибки находится по формуле:

$$afcp = U_{под}(R_{под} + 0,5S), \quad (6)$$

а длина участка cf будет равна:

$$cf = (R_{\text{под}} + S) \sin U_{\text{под}} \quad (7)$$

С учетом (3)(4)(5)(6) длина участка fg будет равна:

$$fg = 0.5(Bl - 2afcp - gg1) \quad (8)$$

Угол поворота сечения g после снятия нагрузки определим по формуле (1), а радиус пружинения по формуле (2). Увеличение хорды пружинения при повороте участка cg на угол $\varphi_{\text{пр}} = 0.5(\alpha - \Delta\alpha)$ будет равно:

$$L = 2cg \cos \varphi_{\text{пр}} \quad (9)$$

Изменение хорды пружинения за счет подогнутых кромок определится по зависимости:

$$H2 = (R_{\text{под}} + S)(1 - \cos U_{\text{под}}) \sin \varphi_{\text{пр}} \quad (10)$$

Окончательно хорда aa1 (рис. 1) найдется по выражению:

$$aa1 = 2((R_{\text{об}} + S) \sin \varphi_{\text{пр}}) + L - 2H2 \quad (11)$$

В случае двухрадиусного пуансона соответствие между участками заготовки до и после формовки показано на рис. 3.

Длины участков могут быть найдены по зависимостям:

$$gg1 = \alpha_1(r + 0.5S), \quad (12)$$

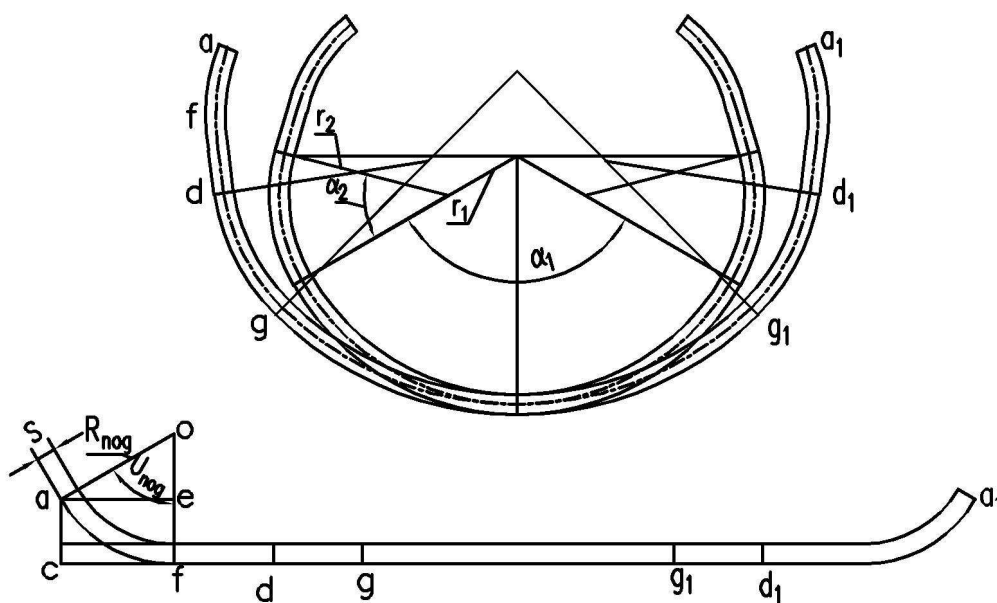


Рис. 3. Схема формовки заготовки двухрадиусным пуансоном

$$dg = \alpha_2(r + 0.5S), \quad (13)$$

$$fd = 0.5(Bl - 2afcp - 2dg - gg1) \quad (14)$$

Угол поворота сечений g и d после снятия нагрузки определим по формуле (1), а радиус пружинения участков gg_1 и dg по формуле (2). Увеличение хорды пружинения при повороте участка cd на угол $\varphi_{прс} = 0.5(\alpha_1 - \Delta\alpha_c) + (\alpha_2 - \Delta\alpha_k)$ будет равно:

$$L = 2 cd \cos \varphi_{прс}, \quad (15)$$

где: $\varphi_{прс}$ - суммарный угол пружинения обоих участков заготовки.

Изменение хорды пружинения за счет подогнутых кромок определится по зависимости:

$$H_2 = (R_{под} + S)(1 - \cos U_{под}) \sin \varphi_{прс} \quad (16)$$

Окончательно хорда aa_1 (рис. 1) найдется по выражению:

$$aa_1 = 2((r_{пр1} - r_{пр2}) \sin \varphi_{пр1} + (r_{пр2} + S) \sin \varphi_{прс}) + L - 2H_2 \quad (17)$$

Разработанный комплекс позволяет резко снизить трудоемкость расчетов при выборе параметров, обеспечивающих возможность окончательной формовки. Результаты расчета пружинения характерной заготовки в расчетном диалоговом окне разработанного программного комплекса приведены на рис. 4.

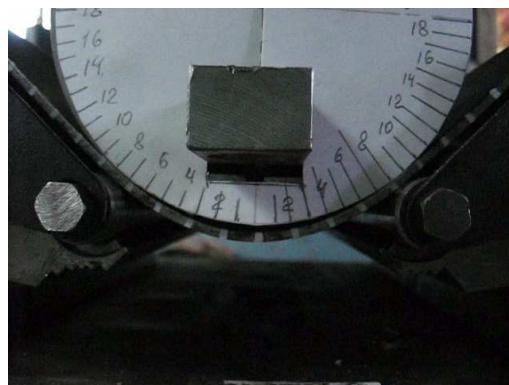
Рис. 4. Диалоговое расчетное окно программного комплекса

Для проверки расчетной методики и программного комплекса использовано сравнение с экспериментальными данными. Ввиду сложности широких испытаний на

действующем оборудовании была создана физическая модель для необходимых замеров основных характеристик предварительной формовки (рис. 5).



а

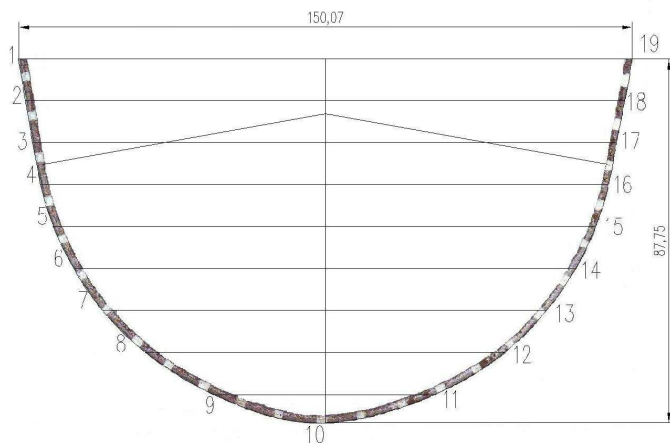


б

Рис. 5. Физическая модель пресса предварительной формовки:

а – общий вид установки, б – этап формовки

Для определения геометрических параметров заготовок после формовки находят свое применение обработка в «Автокаде» растровых изображений, полученных фотографированием или сканированием [4]. Обработанное в «Автокаде» изображение заготовки, полученной на установке (рис. 5), показано на рис. 6а.



а



б

Рис. 6. Заготовка после предварительной формовки: а – отсканированное изображение заготовки, обработанное в «Автокаде», б – схема измерения координат заготовки на КИМ

Для оценки точности использования растровых изображений можно использовать координатно-измерительные машины (рис. 6б).

Результаты замера координат точек заготовки по рис. 6 приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты замера координат точек заготовки после предварительной формовки

Номер точки	«Автокад»		КИМ	
	X	Y	X	Y
1	0	0	0	0
2	1,71	10	1,87	10
3	3,41	20	3,75	20
4	5,46	30	5,82	30
5	8,47	40	9,01	40
6	13,25	50	14,01	50
7	20,22	60	21,19	60
8	30,40	70	31,92	70
9	46,62	80	48,81	80
10	74,54	87,75	75,08	86,38
11	101,98	80	101,63	80
12	118,28	70	118,9	70
13	128,57	60	129,49	60
14	135,44	50	136,71	50
15	140,35	40	141,57	40
16	143,36	30	144,76	30
17	145,28	20	146,84	20
18	147,23	10	148,78	10
19	150,07	0	150,53	0

Как следует из данных, приведенных в таблице 1, погрешность замеров по растровым изображениям не превышает 2% по сравнению с замерами, полученными с помощью координатно-измерительных машин.

Комплексная проверка на физической модели при варьировании в широком диапазоне основных параметров заготовки показала хорошую (в пределах 5%) сходимость значений, полученных расчетом, с результатами измерений. Это дает основания для использования полученного программного продукта для дальнейшего определения и выбора рациональных параметров технологического инструмента и настройки кинематики прессового оборудования.

Список литературы

1. Мошнин Е.Н. Исследование пластического изгиба // Элементы теории и новые процессы обработки металлов давлением. – М. : Машгиз, 1954.
2. Осадчий В.Я., Вавилин А.С., Зимовец В.Г., Коликов А.П. Технология и оборудование трубного производства. – М. : Интермет-инжиниринг, 2007. - 560 с.

3. Попов Е.А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н. Технология и автоматизация листовой штамповки : учебник для вузов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. - 480 с. : ил.
4. Самусев С.В. Методика расчета параметров формоизменения трубной заготовки в линии ТЗСА-1420 ЗАО «Ижорский трубный завод» / С.В. Самусев и [др.] // Известия вузов черной металлургии. – 2009. - № 5. – С. 30-40.
5. Самусев С.В., Люскин А.В., Больдт В.В. Анализ способов формовки заготовки для производства труб большого диаметра // Сталь. – 2009. - № 12. - С. 46-49.
6. Чечулин Ю.Б., Боклаг Н.Ю., Песин Ю.В. Кинематика механизма прессовой формовки арочных изделий взаимно подвижным инструментом // Сталь. - 2013. - № 4. - С. 55-57.

Рецензенты:

Лехов О.С., д.т.н., профессор, зав. кафедрой механики Российского государственного профессионально-педагогического университета, г. Екатеринбург.

Паршин В.С., д.т.н., профессор, зав. кафедрой металлургических и роторных машин, ММИ ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.