

Наибольший перерасход электроэнергии, как при плавке стали 35ГС, наблюдается на УКП: для стали 1сп – 12 %, для стали 5сп – 6 и 4 % на шихте составов по вариантам 1 и 3.

Выбор оптимального состава шихты в значительной степени сказывается на экономии электроэнергии: снижение расхода в среднем на плавку составляет 2000 – 2200 кВт·ч на стали 35ГС и 300 – 1100 кВт·ч на сталях 1сп, 5сп. За счет этого снижается себестоимость жидкой стали.

Наиболее энергоемкими для плавки стали 35ГС, 1сп, 5сп являются составы шихт по варианту 1.

**Выводы.** Качество и состав шихтовых материалов определяют структуру и свойства отливок, проката и расход энергоносителей при плавке стали.

Увеличение доли деформированной шихты (покупного лома) с мелкокристаллической структурой приводит к повышению уровня механических свойств отливок, снижению вероятности образования трещин и возрастанию стойкости коррозионностойкой стали к

межкристаллитной коррозии. Качество и состав шихты значительно влияют на расход электроэнергии при плавке стали.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анিকেев В.В., Зонненберг Н.Н., Осипов Н.В. // Тр. VII международного научно-технического симпозиума «Наследственность в литейных процессах» – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. С. 145 – 149.
2. Анিকেев В.В., Зонненберг Н.Н. // Литейное производство. 2010. № 6. С. 2 – 6.
3. Анিকেев В.В., Никитин В.И., Пигачев Б.А. и др. // Тр. VII международного научно-технического симпозиума «Наследственность в литейных процессах» – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. С. 257 – 259.
4. Никитин В.И., Никитин К.В. Наследственность в литых сплавах. – Изд. 2-е доп. и перераб. – М.: Машиностроение-1, 2005. – 476 с.

© 2012 г. В.В. Анিকেев, Н.Н. Зонненберг,  
В.И. Никитин

Поступила 10 октября 2011 г.

УДК 621.774.2

*С.В. Самусев<sup>1</sup>, А.И. Романцов<sup>2</sup>, К.Л. Жигунов<sup>2</sup>,  
А.В. Люскин<sup>1</sup>, М.С. Сигида<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

<sup>2</sup> ОАО «Челябинский трубопрокатный завод»

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРОМКИ НА УЧАСТКЕ КРОМКОГИБОЧНОГО ПРЕССА В ЛИНИИ ТЭСА-1420 В УСЛОВИЯХ ЧЕЛЯБИНСКОГО ТРУБОПРОКАТНОГО ЗАВОДА

Процесс подгибки кромок листа является неотъемлемой частью технологического процесса пошаговой формовки при производстве электросварных труб большого диаметра и обеспечивает заданную геометрию кромок трубной заготовки. Процесс выполняется методом формовки листа на специальном оборудовании – кромкогибочном прессе (КГП). Подгибка производится по контуру специального инструмента. Поскольку длина инструмента меньше длины подгибаемых листов, про-

цесс производится за несколько шагов (длиной 4500 мм) с одновременной подгибкой обеих кромок листа.

После позиционирования трубной заготовки (ТЗ) (рис. 1, а) производится подъем зажимных и гибочных балок. Подъем ТЗ продолжается до тех пор, пока зажимная балка не подведет ТЗ к верхней прижимной неподвижной балке (рис. 1, б). Далее, зажимные цилиндры создают необходимое для зажатия усилие, а гибочные балки производят отгибание ТЗ нижним инструмен-

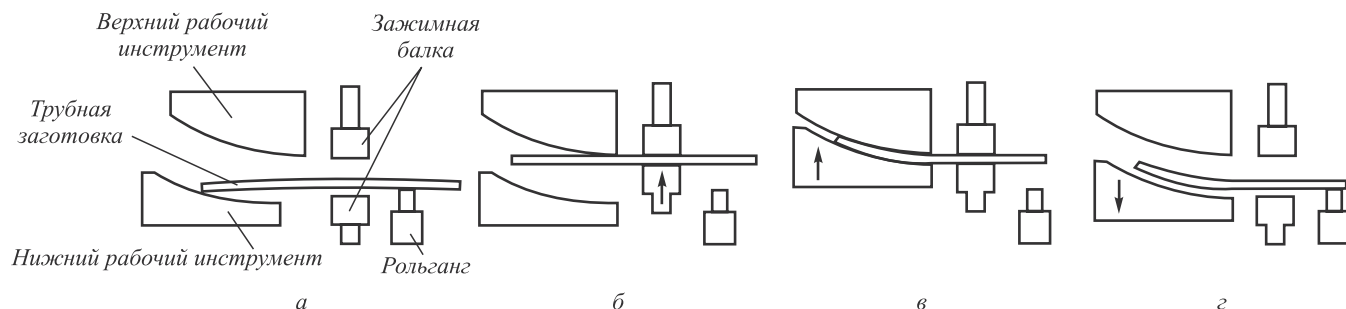


Рис. 1. Этапы формовки ТЗ

том по контуру верхнего инструмента (рис. 1, в). Затем гидросистема разгружает гибочные и зажимные балки, опуская их в исходное положение (рис. 1, з). После подгибки кромок по всей длине, ТЗ транспортируется из пресса по отводящему рольгангу.

Существует несколько вариантов профилей рабочего инструмента КПП, по которым возможна формовка кромок: однорадиусный, двухрадиусный, многорадиусный и эвольвентный. Каждый профиль деформирующего инструмента имеет достоинства и недостатки [1].

ОАО «Челябинский трубопрокатный завод» (ЧТПЗ) реализован эвольвентный профиль деформирующего инструмента, главным преимуществом которого является универсальность. При переходе с одного типоразмера трубы на другой в определенном диапазоне изменяют настройку на новый типоразмер. Недостаток этого способа формовки заключается в сложности изготовления инструмента и расчета геометрических параметров кромки трубной заготовки после выход с участка. Рабочий инструмент КПП представлен на рис. 2.

Для расчета параметров кромки в момент нагрузки рассчитывали параметры профиля эвольвенты по формулам (рис. 3)

$$Z = R \cos \varphi + R \varphi \sin \varphi; \quad K = R \sin \varphi - R \varphi \cos \varphi,$$

где  $\varphi$  – угол эвольвенты,  $R$  – базовый радиус эвольвенты.

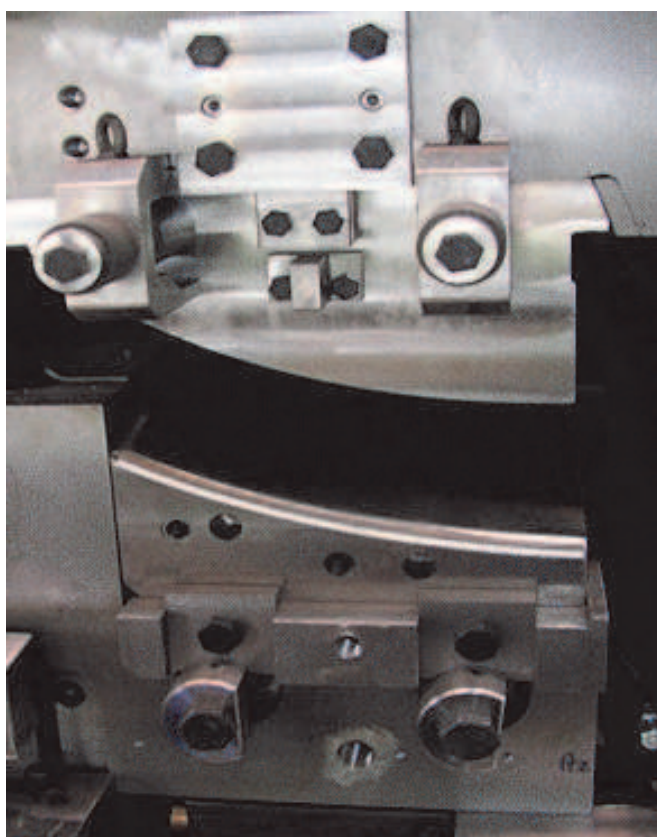


Рис. 2. Рабочий инструмент КПП

В системе координат  $ZO_1K$  невозможно определить параметры кромки до и после распруживания, поэтому выполняли переход в новую систему координат  $XOY$  (см. рис. 3) по формулам

$$Y_i = (K_i - K_0) \cos \varphi_K - (Z_i - Z_0) \sin \varphi_K;$$

$$X_i = (K_i - K_0) \sin \varphi_K + (Z_i - Z_0) \cos \varphi_K.$$

Результаты расчета эвольвенты приведены в таблице 1.

Для расчета параметров кромки ТЗ после снятия нагрузки моделировали профиль инструмента, выполненный по эвольвенте, многорадиусной кривой с разбиением ее на 10 однорадиусных участков. Каждый отдельный участок определен радиусом, углом и длиной (рис. 4).

Моделирование кривой эвольвенты однорадиусными участками включает в себя следующие операции:

- определение длины подгибаемой кромки (координата  $X$ , см. табл. 1);
- разбиение на участки (10 участков), соответствующие длине кромки выбранной протяженности эвольвенты;
- построение радиуса для каждого участка по трем точкам участка;
- определение угла для каждого участка;
- моделирование (собираение) полученной кривой кромки однорадиусными участками по сопряженной сборке [2];
- сравнение расчетной кривой и кривой по заводским данным.

Радиусы участков рассчитывали по формулам [3] (рис. 5)

$$A_1 = \sqrt{(X_3 - X_1)^2 + (Y_3 - Y_1)^2}; \quad B_1 = \sqrt{(X_6 - X_3)^2 + (Y_6 - Y_3)^2};$$

$$C_1 = \sqrt{(X_6 - X_1)^2 + (Y_6 - Y_1)^2};$$

$$\varphi_{A_1 C_1} = \arccos \left( \frac{A_1^2 + C_1^2 - B_1^2}{2 A_1 C_1} \right); \quad R = \frac{B_1}{2 \sin \varphi_{A_1 C_1}}.$$

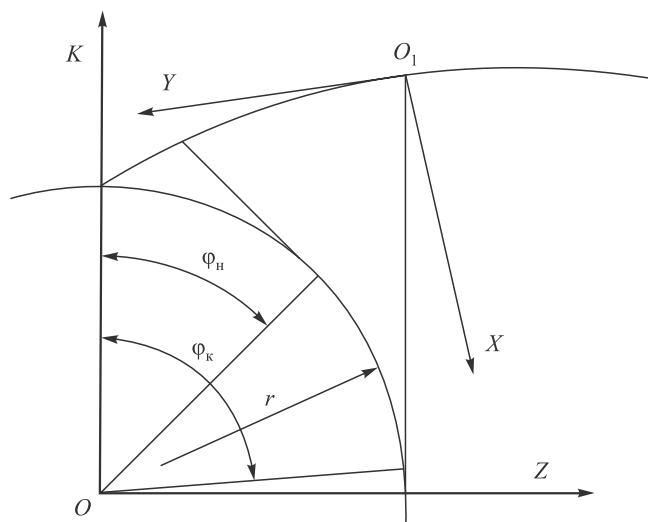


Рис. 3. Эвольвента

Расчетные координаты точек профиля верхнего инструмента

Номер точки	X, мм	Y, мм	Номер точки	X, мм	Y, мм	Номер точки	X, мм	Y, мм	Номер точки	X, мм	Y, мм
1	0	0	16	75	5,40	31	150	22,81	46	225	55,83
2	5	0,02	17	80	6,16	32	155	24,47	47	230	58,77
3	10	0,09	18	85	6,98	33	160	26,19	48	235	61,81
4	15	0,21	19	90	7,85	34	165	27,99	49	240	64,94
5	20	0,37	20	95	8,77	35	170	29,86	50	245	68,26
6	25	0,58	21	100	9,75	36	175	31,80	51	250	71,68
7	30	0,84	22	105	10,79	37	180	33,82	52	255	75,24
8	35	1,15	23	110	11,88	38	185	35,91	53	260	78,94
9	40	1,51	24	115	13,03	39	190	38,09	54	265	82,81
10	45	1,91	25	120	14,24	40	195	40,35	55	270	86,84
11	50	2,37	26	125	15,51	41	200	42,70	56	275	91,05
12	55	2,87	27	130	16,85	42	205	45,14	57	280	95,47
13	60	3,42	28	135	18,24	43	210	47,66	58	285	100,10
14	65	4,03	29	140	19,70	44	215	50,29	59	290	104,97
15	70	4,69	30	145	21,22	45	220	53,01	60	295	110,11

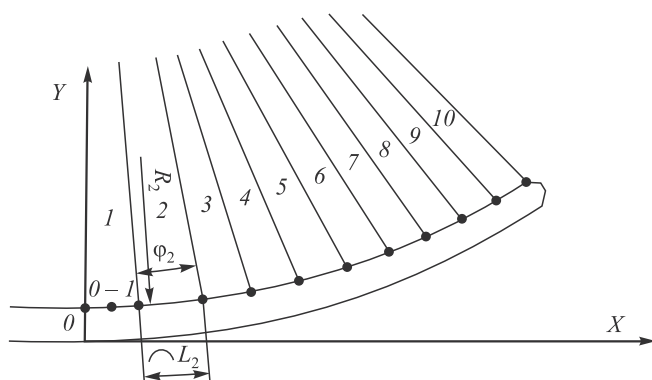


Рис. 4. Смоделированная многорадиусная кривая кромки ТЗ по рис. 1, в

Координаты точек концов участков:

$$\varphi_i = \frac{C_i}{R_i}; X_i = R_i \sin(\varphi_i); Y_i = R_i [1 - \cos(\varphi_i)].$$

Полученные расчетные данные приведены в табл. 2.

Далее проводили расчет параметров кромки после разгрузки.

Радиус распружинивания рассчитывали по формулам [4]

$$M_i = \frac{b\sigma_r h^2}{4} + \frac{bh^3\Pi}{12R_i}; R_{pi} = \left( \frac{1}{R_i} - \frac{12M_i}{Ebh^3} \right)^{-1}.$$

Расчет координат точек концов участков после снятия нагрузки проводился аналогично. Результаты рас-

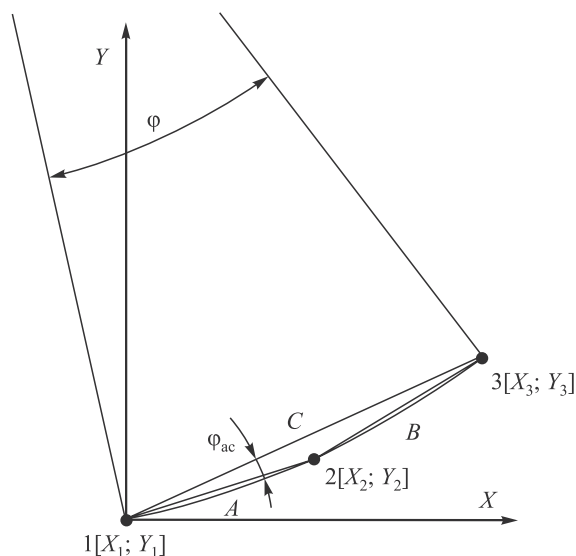


Рис. 5. Схема к расчету радиуса участка ТЗ по координатам трех точек

чета радиусов и координаты десяти фиксированных участков после снятия нагрузки приведены в табл. 3.

Для трубы типоразмера 812,8×37,4 проводили экспериментальные исследования (фотографирование профиля кромки после снятия нагрузки на КГП) в условиях ЧТПЗ. Экспериментальные данные обработаны при помощи программы «AutoCad», результаты представлены на рис. 6, 7.

Величина подгибки кромки Y'' после КГП с обработанного фото равна 96,8 мм, по расчетным данным – 96,7 мм, по замерам образца – 94 мм. Ошибка составля-

Таблица 2

Расчетные данные кромки при нагрузке

Номер участка	Расчетные координаты точек			Радиус участка при нагрузке	Длина участка	Координаты точек концов участков при сопряженной сборке при нагрузке
	начало участка	середина участка	конец участка			
1	0; 0	10; 0,09	25; 0,58	529	25,007	24,997; 0,591
2	25; 0,58	40; 1,51	55; 2,87	527	30,087	54,994; 2,870
3	55; 2,87	70; 4,69	85; 6,98	492	30,280	84,994; 6,946
4	85; 6,98	100; 9,75	115; 13,03	468	30,604	114,992; 12,978
5	115; 13,03	130; 16,85	145; 21,22	456	31,098	144,997; 21,129
6	145; 21,22	160; 26,19	175; 31,80	419	31,811	175,008; 31,653
7	175; 31,80	190; 38,09	205; 45,14	388	32,832	205,011; 44,962
8	205; 45,14	220; 53,01	235; 61,81	362	34,320	235,000; 61,625
9	235; 61,81	250; 71,68	265; 82,81	324	36,620	264,982; 82,617
10	265; 82,81	280; 95,47	290; 104,97	280	40,562	294,926; 109,926

Таблица 3

Параметры кромки после снятия нагрузки

Номер участка	Координаты точек конца участка при сопряженной сборке при разгрузке	Радиус участка при разгрузке	Длина участка
1	25,000; 0,503	622	25,007
2	55,022; 2,439	621	30,087
3	85,099; 5,913	574	30,280
4	115,26; 11,076	543	30,604
5	145,554; 18,079	527	31,098
6	176,033; 27,168	481	31,811
7	206,753; 38,734	442	32,832
8	237,808; 53,321	410	34,320
9	269,366; 71,866	364	36,620
10	303,215; 94,217	∞	40,562

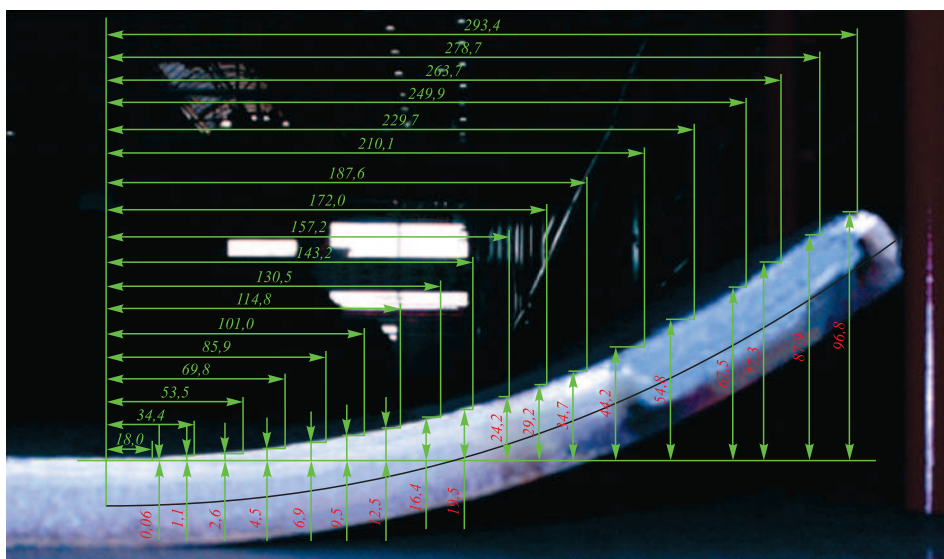


Рис. 6. Координаты кромки

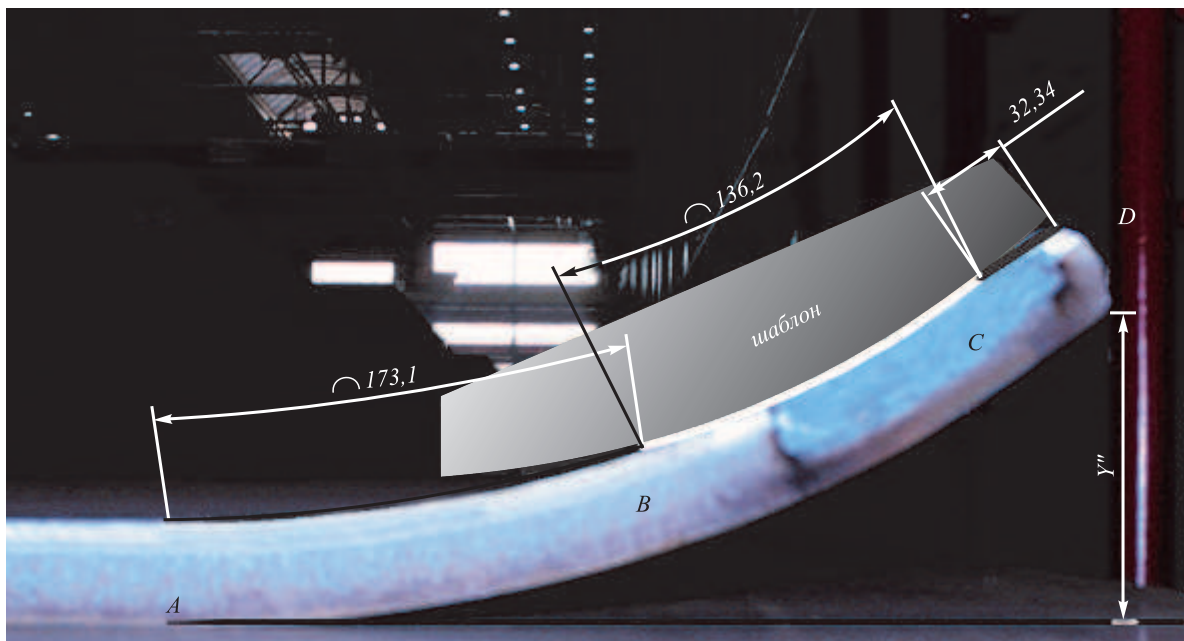


Рис. 7. Результаты обработки экспериментальных данных

ет 2,9 %, что подтверждает целесообразность применения данной методики.

При обработке экспериментов определяли следующие геометрические параметры кромки ТЗ:  $Y''$  – высоту подгибки кромки, ширину плоского периферийного участка  $CD$  (см. рис. 7), ширину участка постоянного радиуса  $BC$  и ширину участка переменного радиуса  $AB$ .

Эти параметры проверяли ручными замерами и шаблоном. Сравнение результатов показало расхождение в пределах 3 %, результаты замеров представлены в табл. 4.

**Выводы.** Разработана методика расчета геометрических параметров трубной заготовки как во время нагружения, так и после снятия нагрузки на кромкогибочном стане в линии ТЭСА-1420.

Проведены и обработаны экспериментальные исследования для типоразмера  $812,8 \times 37,4$  в условиях ЧТПЗ. Получены геометрические параметры кромки ТЗ по всему профилю.

Сравнения результатов расчетов, обработанных данных с фото и физических замеров образцов показали, что отклонения значений контрольных точек находятся в пределах 3 %, поэтому данную методику можно использовать для расчета и прогнозирования геометрических параметров кромки ТЗ для других типоразмеров, не прибегая к трудоемким экспериментальным исследованиям.

Таблица 4

Результаты замеров

Параметр	Обработка фотографий	Ручной замер	Расчет
$Y''$ , мм	96,80	92,00	94,20
$B_{\text{пер}}$ , мм	173,10	–	–
$B_{\text{ш}}$ , мм	136,20	–	–
$A$ , мм	32,34	–	–

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самусев С.В., Величко А.А., Люскин А.В. и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 9. С. 19 – 22.
2. Самусев С.В., Люскин А.В. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 1. С. 10 – 12.
3. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры: Учеб. для вузов. – 11-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2006. – 312 с.
4. Самусев С.В., Величко А.А., Люскин А.В. и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 5. С. 36 – 40.

© 2012 г. С.В. Самусев, А.И. Романцов, К.Л. Жигунов, А.В. Люскин, М.С. Сигида  
Поступила 16 июня 2011 г.