



It is shown that using of the modern materials and production technologies enables to receive light-wall electric-welded pipes of different categories of drawing out (by analogy with categories of sheet iron drawing out).

О. Р. ПРУДНИКОВА, Э. Д. ЩЕРБАКОВ, БНТУ, В. П. ЛАПИН, ЗАО «БелГЭН»

ВЫБОР СТАЛИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕКТРОСВАРНЫХ ТРУБ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИХ

В большинстве случаев труба тонкостенная электросварная применяется там, где необходимо совместить высокую прочность и легкость конструкции. Стандартная толщина стенки электросварной трубы составляет около 0,8–2,0 мм. Если необходима труба с качественной поверхностью, высокой пластичностью и прочностью, то данный вид трубы подойдет оптимально.

Тонкостенные электросварные трубы (ТЭТ) нашли широкое применение в различных отраслях: для изготовления мебели и торгового оборудования, бытовой техники (холодильников, газовых и плит), в строительстве, автомобильной и тракторной промышленности, сельскохозяйственном машиностроении, для изготовления велосипедов, а также для изготовления трубчатых электронагревателей и др.

Технология изготовления деталей из труб может включать деформацию заготовок и их сварку. Изменение формы и размеров (деформация) заготовок из труб в целом может быть осуществлено одним из следующих способов: деформацией растяжением поперек оси трубы (раздача труб); деформацией растяжением и сжатием вдоль оси трубы (гибка труб); деформацией обжатием (редуцирование труб).

Материал, применяемый для изготовления труб, должен соответствовать не только назначению и условиям работы готовых изделий, но и технологическим требованиям, вытекающим из характера и степени производимой над трубами деформации.

Для тех изделий, которые изготавливают без применения деформации заготовок из труб (например, строительные леса, торговое оборудование, стеллажи и пр.), можно использовать трубы с высокими прочностными характеристиками и низ-

кой пластичностью, а для изделий, которые изготавливают гибкой, раздачей или редуцированием, наоборот.

Механические свойства ТЭТ зависят от того, из какой стали и по какой технологии они изготовлены. Рассмотрим влияние этих факторов подробнее.

Сортамент и технические условия, которым должны соответствовать ТЭТ круглого сечения, изложены в стандартах [1–3]: ГОСТ 10704-91; 10705-80 и 10707-80.

Кроме того, предприятия, выпускающие ТЭТ, могут регистрировать собственные технические условия (ТУ). Это допустимо в том случае, если требования заказчиков, предъявляемые к ТЭТ, отличаются (в сторону ужесточения) от заложенных в ГОСТ. Однако надо отметить большая часть ТЭТ все же выпускается в соответствии с требованиями ГОСТ.

ГОСТ 10705-80 распространяется на стальные электросварные прямошовные трубы диаметром от 10 до 530 мм из углеродистой и низколегированной стали. Согласно ГОСТ 10705-80, трубы изготавливают из спокойной, полуспокойной и кипящей стали марок Ст1, Ст2, Ст3, Ст4 по ГОСТ 380-2005 (категории 4 по ГОСТ 16523-89 и категории 2–5 по ГОСТ 14637-89); спокойной, полуспокойной и кипящей стали марок 08, 10, 15, 20 по ГОСТ 1050-88; стали марки 08Ю по ГОСТ 9045-93 [4–8].

Технологические свойства металла определяются в основном его механическими свойствами, зависящими, в свою очередь, от химического состава и микроструктуры. В табл. 1 приведены механические свойства листовой стали различных марок.

Основными химическими элементами, определяющими соотношение пластичности и прочности

Т а б л и ц а 1. Механические свойства листовой стали толщиной до 2 мм, применяемой для изготовления труб по ГОСТ 10705-80

Наименование проката	Марка стали	Группа прочности (ГОСТ 16523-97)	Способность к вытяжке (ГОСТ 9045-93)	Временное сопротивление разрыву σ_b , Н/мм ²	Относительное удлинение δ_4 , % (не менее)	
					холоднокатаный прокат	горячекатаный прокат
Прокат из углеродистой стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-2005)	Ст1, Ст2*	ОК300В	-	300–480	24	21
	Ст3*	ОК360В		360–530	22	20
	СтЗпс, СтЗсп	ОК370В		370–530	22	20
	Ст4*	ОК400В		400–680	19	17
Прокат из углеродистой качественной конструкционной стали (ГОСТ 1050-88)	08кп	К260В	-	260–380	26	25
	08пс, 08 10кп, 10пс, 10	К270В		370–410	25	24
	15кп, 15пс	К310В		310–440	24	23
	15, 20кп	К330В		330–460	24	23
	20пс, 20	К350В		350–500	23	22
Прокат из низкоуглеродистой качественной стали (ГОСТ 9045-93)	08Ю	-	ОСВ СВ	250–350 250–380	40 38	-
	08Ю, 08кп, 08пс	-	ВГ	250–390	29	-

* Марка стали всех степеней раскисления.

стали, являются углерод и азот. Например, увеличение содержания углерода на 0,1% приводит к росту предела прочности на 60–80 Н/мм² и падению пластичности [9].

Однако важно не только количество, но и состояние, в котором углерод и азот находятся в стали. Так, присутствие растворенных в феррите азота и углерода приводит к деформационному старению стали. Напомним, что деформационным старением называют процесс охрупчивания стали, подвергнутой деформации, вызванный закреплением свежих дислокаций сегрегациями атомов внедрения (углерода и азота) [10]. Старение может пройти за короткий период – от нескольких дней до нескольких часов. Это зависит от температуры – с увеличением температуры интенсивность старения повышается.

Величина относительного удлинения и глубина сферической лунки для проката, склонного к старению (категории вытяжки ВГ, Г), гарантируются изготовителем в течение 10 сут с момента отгрузки [5, 8]. Раскисление алюминием позволяет связать растворенный в феррите азот, замедляет старение стали, сохраняя тем самым пластич-

ность. Роль алюминия для тонколистового проката этим не ограничивается. Введение его в качестве легирующего элемента (в сталь 08Ю) позволяет получить оладьеобразную форму зерен, которая наиболее благоприятна для особо сложной вытяжки [11].

К структуре тонколистовой стали для глубокой вытяжки предъявляются следующие требования: небольшая величина зерен и их равномерность (для стали толщиной до 2 мм – 26–37 мкм при соотношении осей зерна до 1,4–1,5), отсутствие полосчатой структуры, структурно-свободного цемента, неметаллических включений [9].

Отметим, что выпускаемые в настоящее время стали марок 08Ю и 08пс содержат значительно меньшее количество атомов внедрения (азота, углерода), чем это оговорено в стандартах, регламентирующих их химический состав. Выборочные результаты анализа некоторых плавок стали, выпускаемой по ГОСТ 9045-93 на Новолипецком металлургическом комбинате, приведены в табл. 2.

Совершенствование технологии выплавки и прокатки тонколистовых сталей обусловлено в большей степени быстрыми темпами роста автомоби-

Т а б л и ц а 2. Химический состав стали

Сталь	Массовая доля элементов, %							Примечание
	C	Mn	S	P	Si	Al*	N ₂	
	не более							
08Ю	0,07	0,35	0,025	0,020	0,03	0,02–0,07	-	Требование ГОСТ 9045-93
08пс	0,09	0,45	0,030	0,025	0,04			
08кп	0,10	0,40	0,030	0,025	0,03			
08Ю	0,04	0,18	0,02	0,011	0,01	0,04	0,004	Данные сертификата качества металлургического комбината
08пс	0,057	0,49	0,013	0,024	0,079	0,041	0,004	

* Алюминий кислоторастворимый.

лестроения. К тонколистовому холоднокатаному прокату, используемому для изготовления корпусов легковых (и не только) автомобилей, предъявляется ряд требований. Одними из главных являются высокая штампуемость и чистота поверхности. Недопустимо появление разрывов и линий сдвига на деформируемой поверхности металла.

Повышение чистоты химического состава сталей приводит к закономерному росту пластичности. Естественно, технология производства тонколистового проката, так же как и химический состав, претерпели существенные изменения [11]. Выпуск сталей, соответствующих современным требованиям, уже освоен на ряде крупных металлургических комбинатов России и Украины. Металлургические комбинаты разрабатывают собственные нормативные документы (ТУ, ТП, и т. д.), регламентирующие выпуск продукции, соответствующей европейским нормам. Широкий выбор холоднокатаного проката с различными механическими характеристиками позволяет подобрать оптимальный материал для различных изделий.

В [9, 12] приведены рекомендации по технологическому применению тонколистовой стали (табл. 3).

Из табл. 1, 3 видно, что стали обыкновенного качества марок Ст1, Ст2, Ст3, Ст4 (ГОСТ 380-2005) и качественные 10, 15, 20 (ГОСТ 1050-88) (сп, пс, кп) могут использоваться для изготовления ТЭТ при невысокой степени производимой деформации.

Сталь низкоуглеродистая качественная 08, 08кп и 08пс категории вытяжки ВГ может использо-

ваться при более глубокой деформации. Однако при этом возможно проявление деформационного старения. Для достижения наибольших показателей пластичности и гарантированной сохранности уровня свойств необходимо использовать сталь 08Ю (категории вытяжки СВ, ОСВ).

Вторым фактором, определяющим уровень механических свойств ТЭТ, является, как говорилось выше, технологическая схема производства труб. В общем случае она может включать в себя операции, приведенные в табл. 4 [13].

Окончательный геометрический размер труб обычно получают в непрерывных калибровочных станках (вариант № 1) или в редуцированных станках с применением предварительного нагрева (вариант № 2) и без него (вариант № 3).

В трубной промышленности наибольшее распространение получил вариант № 1. Для этого варианта необходима подготовка рулонов ленты (штрипсов) с различными размерами по ширине и толщине для каждого размера труб. Кроме того, при переналадке стана на другой типоразмер трубы заменяют все валки как формовочного, так и калибровочного станков. Однако при такой схеме производства степень деформации металла труб невысока и калибровка сваренной трубы в окончательный размер может проводиться без предварительного нагрева [13].

Производство сварных труб с применением редуцирования возможно по различным технологическим схемам:

Таблица 3. Примеры технологического применения тонколистовой стали и механические характеристики

Пример применяемости	Временное сопротивление σ_v , Н/мм ² (не более)	Относительное удлинение δ_{10} , % (не менее)	Твердость HRB (не более)	Глубина выдавливания сферической лунки, мм (не менее)
Вырубка плоских деталей	650	1–5	84–96	6–7
Вырубка, простая гибка поперек волокон под углом 90°	500	4–14	75–85	7–8
Неглубокая вытяжка и формовка. Гибка на 180° поперек волокон или на 90° вдоль волокон	420	13–27	64–74	8–9
Глубокая вытяжка (допустимы линии сдвига). Гибка на 180° во всех направлениях	370	24–36	52–64	9–10
Глубокая вытяжка (с незначительными линиями сдвига). Гибка на 180° во всех направлениях	330	33–45	38–52	10–12

Таблица 4. Различные технологические схемы производства ТЭТ

Условное обозначение технологической схемы	Операция					
	формовка	сварка	предварительный нагрев	калибровка	редуцирование	отжиг
Вариант № 1	+	+	–	+	–	–
Вариант № 2	+	+	+	–	+	–
Вариант № 3	+	+	–	–	+	–
Вариант № 4	+	+	–	–	+	+

Примечание. «+» – операция проводится; «–» – операция не проводится.

- холодное редуцирование (станы холодного редуцирования устанавливаются в потоке (в одну линию) с трубоэлектросварочными; станы холодного редуцирования установлены вне потока; станы холодного редуцирования входят в состав трубоэлектросварочных агрегатов);

- горячее редуцирование (станы горячего редуцирования устанавливаются в потоке (в одну линию) с трубоэлектросварочными; станы горячего редуцирования установлены вне потока; станы горячего редуцирования входят в состав трубоэлектросварочных агрегатов).

На агрегатах, работающих по варианту № 2, применяются всего два-три размера ленты, из которой формуют и сваривают трубу с диаметром и толщиной стенки, наибольшими для агрегата данного типоразмера. После сварки производится порезка труб на мерные заготовки, затем скоростной нагрев и редуцирование с натяжением в редуцирующем стане на трубы меньших диаметров. Предварительный нагрев позволяет проводить редуцирование с большими степенями деформации. В целом введение процесса редуцирования с натяжением позволяет получать трубы с различными диаметрами и толщинами стенки без изменения размеров исходной заготовки. Переход на другой диаметр труб осуществляется сравнительно быстро путем смены блока клетей только редуцирующего стана [13].

При варианте № 3 редуцирование проводят без предварительного нагрева. Использование холодного редуцирования предполагает деформацию со степенями обжатия, меньшими, чем в варианте № 2.

Вариант № 4 позволяет с помощью рекристаллизационного отжига снять наклеп, полученный во время холодного редуцирования трубы, и повысить пластичность [13].

Механические свойства основного металла термически обработанных и горячедуцированных труб, производимых по ГОСТ 10705-80 из углеродистых сталей, должны соответствовать нормам, приведенным в табл. 5. Механические свойства основного металла труб диаметром от 10

до 60 мм включительно, производимых по этому ГОСТ, без термической обработки и с термической обработкой сварного соединения, должны соответствовать нормам, приведенным в табл. 6.

Использование сталей с пониженным содержанием примесей внедрения позволяет получить ТЭТ с высоким уровнем пластичности. Не только калиброванные (вариант № 1), но и холодноредуцированные (вариант № 3) ТЭТ превосходят по пластичности требования ГОСТ даже для термообработанных и горячедуцированных труб (табл. 7).

При выборе стали и способа производства ТЭТ, предназначенных для изготовления деталей (изделий) различными методами, необходимо, в первую очередь, руководствоваться технологическими требованиями, вытекающими из характера и степени производимой над трубами деформации.

Рассмотрим вариант изготовления изделий из труб без применения операций гибки, редуцирования, раздачи.

Главным показателем для таких труб является их прочность.

Наиболее оправдано применение сталей с наибольшим содержанием углерода – 15, 20, Ст3, Ст4. Из табл. 1 и 3 видно, что уровня пластичности такого проката достаточно для того, чтобы изготавливать трубу как калибровкой, так и холодным редуцированием. При проведении операции редуцирования сталь получит дополнительное упрочнение, что в данном случае является благоприятным.

Рассмотрим вариант изготовления изделий из труб с применением операций гибки, редуцирования, раздачи. Основным требованием для таких труб является достаточный уровень пластичности. Вне зависимости от вида деформации необходимо при выборе стали в данном случае руководствоваться тем фактом, что стали, нераскисленные алюминием, могут подвергаться деформационному старению. Это может приводить к массовому браку в результате резкого падения пластичности труб. Поэтому следует выбирать высокопластич-

Таблица 5. Механические свойства основного металла термически обработанных и горячедуцированных труб из углеродистых сталей

Марка стали	Временное сопротивление σ_b , Н/мм ²	Предел текучести σ_s , Н/мм ²	Относительное удлинение δ_5 , %
	не менее		
08Ю	255	174	30
08кп	294	174	27
08, 08пс, 10кп	314	196	25
10, 10пс, 15кп, Ст2сп, Ст2кп, Ст2пс	333	206	24
15, 15пс, 20кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3кп	372	225	22
20, 20пс, Ст4сп, Ст4пс, Ст4кп,	412	245	21

Т а б л и ц а 6. Механические свойства основного металла труб диаметром от 10 до 60 мм включительно без термической обработки и с термической обработкой сварного соединения

Марка стали	Временное сопротивление σ_b , Н/мм ² , при наружном диаметре труб D , мм		Предел текучести σ_s , Н/мм ²	Относительное удлинение δ_5 , %, при толщине стенки, мм	
	от 10 до 19	свыше 19 до 60		более 0,06 D	0,06 D и менее
	не менее				
08Ю	314	294	176	7	16
08пс, 08кп, Ст1пс, Ст1кп	372	314	176	6	15
08, Ст1сп			186		
10кп, Ст2кп			176		
10пс, Ст2пс		333	186		
10, Ст2сп			196		
15кп			186		
15пс, 20кп	441	372	196	5	14
15, 20пс			206		
20			216		
Ст3кп			392		
Ст3пс	206				
Ст3сп	216				
Ст4кп, Ст4пс	490	431	216	4	11
Ст4сп			225		

Т а б л и ц а 7. Механические свойства тонкостенных электросварных труб, произведенных на ЗАО «БелТЭН» по ГОСТ10705-80

Диаметр трубы, мм	Прокат					Временное сопротивление разрыву, Н/мм ²	Относительное удлинение, %	Раздача ϵ , %	Технологическая схема производства
	толщина, мм	марка стали	категория вытяжки	относительное удлинение проката, %	глубина сферической лунки, мм				
10	1,0	08Ю	СВ	46	11,3	438–445	46–48	40–55	1
	1,0		СВ	43	11,3	336	43		1
	1,0		СВ	44			438–445		46–48
	1,0	08пс	Г	36	11,1	456–459	19–20		1
	0,8		Г	34	9,6	424–419	33		1
	0,8		Г	36	11,8	436–440	20		1
16	1,0	08Ю	ОСВ	41	11,4	313–314	50–53	40–65	1
	1,0		ОСВ	40	11,5	316–318	45–50		1
	1,0		СВ	42	11	320–322	41–43		1
	1,0		СВ	45	11,2	345–346	45		1
	1,0		ВГ	38	11,1	355	37–45		1
	1,0		ВГ	35	10,8	337–345	46		1
25	1,0	08Ю	ОСВ	41	12,0	289–291	50–52	55–60	1
	1,0		ОСВ	43	11,4	303–304	54		1
	1,0		СВ	41	11,7	308	52–54		1
	1,0		СВ	45	11,2	330–325	48–50		1
14	1,2	08Ю	СВ	43	11,3	442	30	40–50	3*
	1,2	08пс	СВ	42	11,0	484–475	25–28		3*
13,5	0,9	08Ю	СВ	45	11,1	439–433	23–24	40–55	3**
	1,1	08пс	СВ	43	11,3	474	22–23		3**

* Редукция с диаметра 16 мм на диаметр 14 мм (редукционный стан в составе ТЭСА).

** Редукция с диаметра 16 мм на диаметр 13,5 мм (редукционный стан вне линии ТЭСА).

ные стали с пониженным содержанием углерода и азота, раскисленные алюминием – 08пс, 08Ю.

Выбор стали в качестве исходного материала для изготовления ТЭТ должен быть обусловлен условиями переработки труб, чем выше степень деформации заготовок из труб, тем выше должна быть пластичность используемой стали (выше ка-

тегория вытяжки). Кроме того, необходимо учитывать технологию изготовления трубы, чем выше деформация при калибровке (или редуцировании), тем меньше пластичность готовых труб.

Максимальная пластичность соответственно получается при изготовлении труб калибровкой из стали 08Ю категории вытяжки СВ, ОСВ (табл. 7).

С другой стороны, использование стали категории ОСВ позволяет даже после редуцирования получить трубу с высокой пластичностью.

Технологическая схема производства во многом определяется оборудованием, установленным на трубных заводах. При невозможности получения труб требуемого типоразмера методом калибровки (т. е. трубы изготавливают редуцированием) следует проводить рекристаллизационный отжиг труб. Проведение дополнительно термообработки (отжига) позволяет получить относительное удлинение и предел прочности редуцированных труб на уровне калиброванных. Однако необходимо учитывать, что величина раздачи труб при проведении рекристаллизационного отжига редуцированных труб снижается. Поэтому при переработке труб методом раздачи предварительный рекристаллизационный отжиг нежелателен.

Выводы

1. Использование современных материалов и технологий производства позволяет получить ТЭТ различных категорий вытяжки (по аналогии с категориями вытяжки тонколистового проката).

2. В зависимости от условий переработки необходимо использовать трубы, изготовленные из различных марок стали:

- ТЭТ из сталей обычного качества марок Ст1, Ст2, Ст3, Ст4 по ГОСТ 380-2005 и качественных 10, 15, 20 по ГОСТ 1050-88 (сп, пс, кп) могут использоваться при невысокой степени производимой над ними деформации (или без нее);

- ТЭТ из стали низкоуглеродистой качественной 08Ю, 08кп и 08пс категории вытяжки ВГ, Г могут использоваться при более высокой степени

производимой над ними деформации. Однако при этом возможно проявление деформационного старения труб;

- ТЭТ из стали 08Ю (категории вытяжки СВ, ОСВ) обладают наибольшей технологической пластичностью. Они не подвержены деформационному старению и могут использоваться для изготовления изделий глубокой деформацией.

3. Также необходимо учитывать и технологию изготовления труб:

- для изделий, изготавливаемых редуцированием, гибкой труб с высокими степенями деформации, оптимально использовать калиброванные ТЭТ. В этом случае промежуточный отжиг не нужен;

- для изделий, изготавливаемых редуцированием, гибкой труб со средними степенями деформации, допустимо использовать холодноредуцированные ТЭТ. В этом случае промежуточный отжиг также не нужен;

- при недостаточной пластичности редуцированных труб (и невозможности получения труб требуемого типоразмера методом калибровки) следует проводить рекристаллизационный отжиг;

- для изделий, изготавливаемых раздачей, подходят как калиброванные, так и холодноредуцированные ТЭТ. Промежуточный отжиг не нужен.

При выборе марки и категории вытяжки стали для изготовления ТЭТ необходимо учитывать технологию их дальнейшей переработки. Стоимость стали составляет 70–80% от стоимости готовой трубы. Отжиг больших партий труб также сильно удорожает стоимость готовой продукции. Поэтому дифференцированный подход к выбору сталей и технологии производства труб оправдан.

Литература

1. ГОСТ 10705-80. Трубы стальные электросварные. Технические условия.
2. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент.
3. ГОСТ 10707-80. Трубы стальные электросварные холоднодеформированные. Технические условия.
4. ГОСТ 380-94. Сталь углеродистая обычного качества. Марки.
5. ГОСТ 16523-89. Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обычного качества общего назначения. Технические условия.
6. ГОСТ 14637-89. Прокат толстолистовой из углеродистой стали обычного качества. Технические условия.
7. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия.
8. ГОСТ 9045-93. Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия.
9. Холодная объемная штамповка. Справ. / Под ред. Г. А. Навроцкого. М.: Машиностроение, 1973.
10. Бабиц В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабиц, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. М.: Металлургия, 1972.
11. Франценюк И. В., Франценюк Л. И. Современное металлургическое производство. М.: Металлургия, 2000.
12. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1979.
13. Технология производства труб: Учеб. для вузов / И. Н. Потапов, А. П. Коликов, В. Н. Данченко и др. М.: Металлургия, 1994.