

КОЛЬЦЕВАЯ ЖЕСТКОСТЬ И ВЕС ТРУБ КОРСИС ПЛЮС: ВЫБОР ЭКОНОМИЧНОГО ПРОФИЛЯ

Владимир Швабауэр, Илья Ермолаев

Научно технический центр «Пластик»

Наталья Готовко

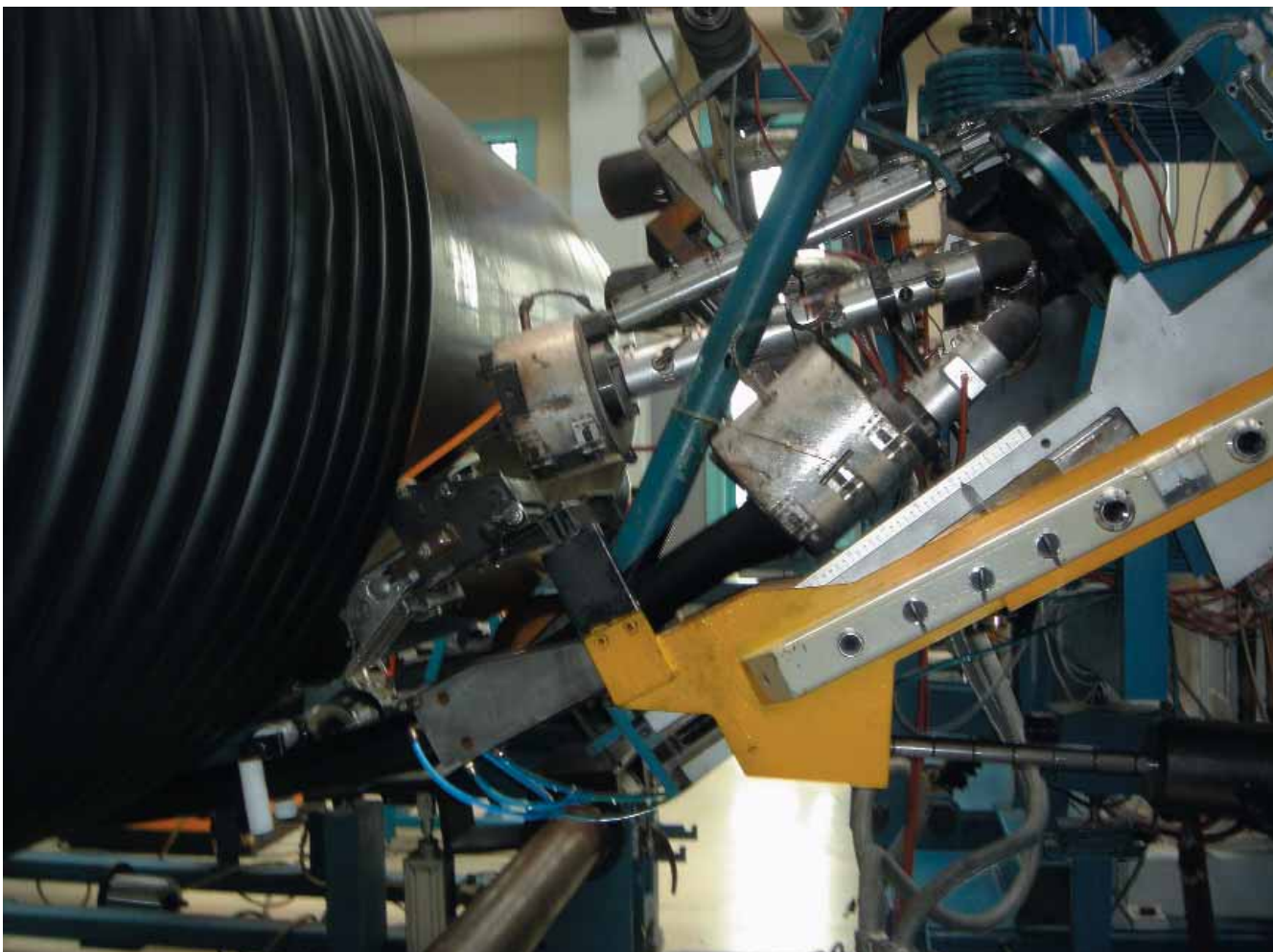
Климовский Трубный Завод

Метод навивки используется для производства труб специальной конструкции, в том числе труб переменного диаметра и/или переменной толщины стенки; труб с профилированной стенкой и различным материалом слоев; эластичных шлангов, армированных спиральным несущим каркасом, и других. Преимущества технологии навивки в основном заключаются в той легкости, с какой однотипные технологические приемы и оснастка могут обеспечить производство изделий, многообразных по конструкции и габаритам.

Так, изображенная на рис. 1 оснастка, несмотря на свою сложность, позволяет в считанные минуты перейти от производства трубы диаметром 600 мм к производству трубы диаметром 2000 (3000) мм. При этом одна труба может иметь гладкую стенку практически любой толщины, а следующая за ней – стенку, специальным образом спрофилированную.

Полимерные трубы с профилированной стенкой предназначены для подземного строительства безнапорных систем водоотведения, канализации и дренажа, главным требованием к которым является

Рис. 1. Оснастка для производства труб КОРСИС ПЛЮС



кольцевая жесткость. Конструкция таких труб позволяет экономить до 2/3 материала по сравнению с гладкостенной трубой той же кольцевой жесткости.

Кольцевая жесткость S_n (кН/м^2) связана с геометрическими параметрами трубы и свойствами материала соотношением:

$$S_n = E_0 I / d^3 \quad (1)$$

где:

I – момент инерции профиля стенки трубы на единицу длины ($\text{м}^4/\text{м}$);

E_0 – кратковременный модуль упругости материала трубы, кН/м^2 ;

d – срединный (по центру толщины стенки) диаметр трубы, м.

Для гладкостенной трубы момент инерции профиля стенки на единицу длины определяется соотношением:

$$I = s^3 / 12 \quad (2)$$

где s – толщина стенки трубы, м.

Кольцевая жесткость гладкостенной трубы хорошо коррелируется с SDR – «стандартным размерным отношением» трубы.

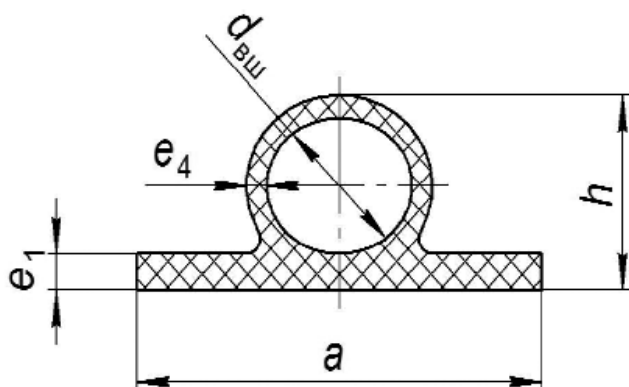
В таблице 1 приведены нормированные значения кольцевой жесткости и показано, какие значения SDR труб из ПЭ им соответствуют.

Таблица 1. Соответствие кольцевой жесткости полиэтиленовых труб значениям SDR

S_n , кН/м^2	2	4	8	16	32	64
SDR	33	26	21	17	13,6	11

Для трубы с профильной стенкой момент инерции сечения можно рассчитать, разбивая сечение на необходимое число элементарных геометрических фигур.

Рис. 2. Профиль стенки трубы КОРСИС ПЛЮС типа PR



При производстве трубы КОРСИС ПЛЮС используется, в первую очередь, профиль, изображенный на рис. 2. Технология производства позволяет в достаточно широких пределах менять каждую из обозначенных на рис. 2 величин и получать требуемый уровень кольцевой жесткости. Но те же величины определяют и вес трубы. Таким образом, выбор оптималь-

ного с точки зрения материальных затрат профиля далеко не однозначен.

Рассмотрим влияние каждой из этих величин на кольцевую жесткость и вес трубы.

Для начала рассмотрим влияние шага навивки. Зафиксируем $e_1=12$ мм; $e_4=10$ мм; $h = 87$ мм; $d_{\text{внш}} = 65$ мм и будем менять шаг навивки a для трубы внутренним диаметром 2000 мм (табл. 2).

Таблица 2. Зависимость кольцевой жесткости S_n и веса 1 м трубы m от шага навивки a для трубы КОРСИС ПЛЮС внутренним диаметром 2000 мм

Шаг навивки a , мм	Кольцевая жесткость S_n , кН/м^2	Вес 1 м трубы m , кг	S_n/m , Н/м/кг
90	3,53	226	15,6
100	3,28	210	15,6
120	2,89	186	15,5
140	2,59	169	15,3

Вывод кажется очевидным: при прочих равных условиях с уменьшением шага навивки кольцевая жесткость возрастает. Одновременно возрастает и вес трубы.

Интересен другой результат.

Введем понятие удельного коэффициента кольцевой жесткости трубы, равного отношению кольцевой жесткости к весу погонного метра трубы S_n/m . Эта величина приведена в последнем столбце таблиц 2–5.

Можно утверждать, что с точки зрения оптимизации профиля данной конструкции шаг навивки не имеет решающего значения. В рассмотренном интервале изменения шага удельный коэффициент кольцевой жесткости возрос только на 2%.

Зафиксируем $a=120$ мм, $e_4=10$ мм, $d_{\text{внш}} = 65$ мм и будем менять толщину подложки e_1 (табл. 3). Как следствие, меняется высота $h = 81...99$, но в данном случае не за счет изменения размеров ребра.

Таблица 3. Зависимость кольцевой жесткости S_n и веса 1 м трубы от толщины подложки e_1 для трубы КОРСИС ПЛЮС внутренним диаметром 2000 мм

Толщина подложки e_1 , мм	Кольцевая жесткость S_n , кН/м^2	Вес 1 м трубы m , кг	S_n/m , Н/м/кг
6	2,27	150,7	15,1
12	2,89	186,6	15,5
16	3,30	210,5	15,7
20	3,72	234,6	15,9
24	4,16	258	16,1

К толщине подложки удельный коэффициент жесткости оказывается более чувствительным, но его рост еще не значителен (возрос на 6%). Так, толщина подложки возросла в 4 раза, кольцевая жесткость – в 1,83 раза, а вес – в 1,7 раза.

Зафиксируем $a=120$ мм; $e_1=12$ мм; $d_{\text{внш}} = 65$ мм и будем менять толщину покрытия опорного шланга e_4 .

Как следствие, меняется высота $h = 83...92$ (табл. 4).

Таблица 4. Зависимость кольцевой жесткости Sn и веса 1 м трубы m от толщины покрытия опорного шланга e^4 для трубы КОРСИС ПЛЮС внутренним диаметром 2000 мм

Толщина покрытия опорного шланга e^4 , мм	Кольцевая жесткость Sn , кН/м ²	Вес 1 м трубы m , кг	Sn/m , Н/м/кг
6	1,84	136	13,5
8	2,35	160	14,6
12	3,46	2,13	16,2
15	4,42	256	17,2

Толщина покрытия опорного шланга – более мощный фактор увеличения кольцевой жесткости, чем два предыдущие. Удельный коэффициент жесткости возрос на 27%. При увеличении толщины покрытия в 2,5 раза, кольцевая жесткость возросла в 2,4 раза, а вес – только в 1,9 раза.

Предыдущие расчеты проводили для опорного шланга 75/65 (внутренний диаметр шланга $d_{вш} = 65$). При этом h вычислялась (рис.2) по внутреннему диаметру опорного шланга $d_{вш}$ и уравнению:

$$h = d_{вш} + e_1 + e_4 \quad (3)$$

То есть, для «идеального» профиля небольшая овальность не учитывается, а кольцевое ребро «внедряется» в подложку на толщину своего покрытия.

Рассмотрим теперь применение опорных шлангов различного диаметра.

Зафиксируем $a=140$ мм; $e_1=20$ мм; $e_4 =10$ мм и проследим (табл. 5) влияние диаметра опорного шланга $d_{вш}$ на кольцевую жесткость трубы.

Таблица 5. Влияние диаметра опорного шланга на кольцевую жесткость и вес трубы (для трубы КОРСИС ПЛЮС внутренним диаметром 2000 мм).

Диаметр опорного шланга $d_{вш}$, мм	Кольцевая жесткость Sn , кН/м ²	Вес 1 м трубы m , кг	Sn/m , Н/м/кг
47,6	1,77	193,6	9,1
57,4	2,58	207	12,5
65	3,35	217,5	15,4
75	4,55	231,4	19,7

Как видим, с увеличением диаметра опорного шланга удельный коэффициент жесткости возрос более чем в два раза. Кольцевая жесткость возросла в 2,6 раза, тогда как вес – только в 1,2 раза.

Очевидно, что диаметр и толщина покрытия опорного шланга – очень сильные факторы, определяющие оптимальное использование материала в формировании кольцевой жесткости трубы. Это позволяет конструировать более экономичные профили.

Рассмотрим чисто технологические и/или конструктивные ограничения вариации геометрических параметров профиля в порядке возрастания их «полезности».

Шаг навивки. Как показано выше, шаг навивки слабо отражается на экономичности профиля. С другой стороны, чем больше шаг навивки, тем легче повысить производительность процесса. В дальнейших расчетах целесообразно выбирать максимально доступный нам по наличию оснастки шаг $a=140$ мм.

Толщина подложки. Из предыдущих расчетов ясно, что с увеличением толщины подложки эффективность использования материала увеличивается незначительно. Но чисто конструктивно толщина не может быть слишком малой величиной. С другой стороны, увеличение толщины потребует существенного увеличения времени охлаждения трубы. Выбираем $6 \leq e_1 \leq 12$ мм. И только в последнюю очередь, если два следующих параметра при своей максимальной величине не позволяют достичь требуемого уровня Sn , наращиваем толщину подложки.

Толщина покрытия опорного шланга. Увеличение толщины покрытия за пределы определенной величины приводит к большой овальности опорного шланга. Так же как в случае с толщиной подложки, возрастает время охлаждения трубы. Кроме того, при их совместном возрастании возможно появление показанного на рис. 3 дефекта. Выбираем $e_4 \leq 13$ мм.

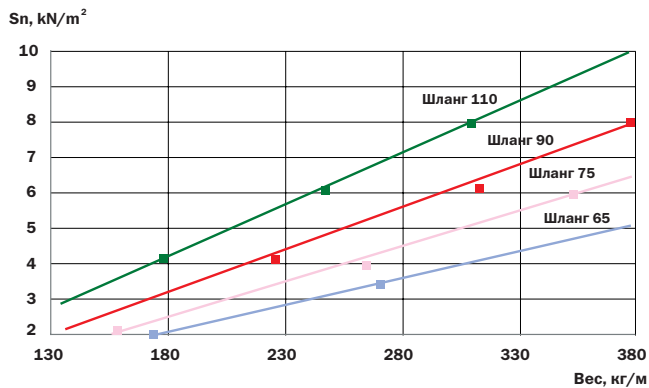
Рис. 3. Излом опорного шланга



Диаметр опорного шланга. Ясно, что, выбор наибольшего диаметра опорного шланга обеспечивает наибольшую экономию материала. Но в этом случае следует исходить и из дизайна конкретной трубы и технологических возможностей ее производства. Так, например, при производстве трубы диаметром 600 мм с опорным шлангом 65/57,4 могут возникнуть трудности, связанные с высокой продольной жесткостью шланга, тогда как для трубы диаметром 2000 мм опорный шланг может иметь и существенно большие габариты.

Рисунок 4 иллюстрирует снижение материалоемкости профиля с увеличением габаритов ребра жесткости трубы внутренним диаметром 2000 мм.

Рис. 4. Уменьшение материалоемкости профиля с увеличением габаритов ребра жесткости трубы внутренним диаметром 2000 мм.



Приведенный выше анализ показывает, что принятые в ТУ 2248-0005-73011750-2008 профили далеко не оптимальны и их применение при производстве труб КОРСИС ПЛЮС ведет к перерасходу материала. В табл. 6 рассмотрены возможные конструкции профилей для трубы $DI = 1400$ мм, а в табл. 7 – для трубы $DI = 2000$ мм, позволяющие экономить 100–150 кг полиэтилена на каждом 6-метровом отрезке трубы.

Таблица 6. Возможные конструкции профилей для трубы КОРСИС ПЛЮС внутренним диаметром 1400 мм

Тип профиля	Sn	a, мм	h, мм	e ₁ , мм	e ₄ , мм	Масса 6 м трубы, кг
PR 65 -07.50	2	140	71	8	5	490
PR 75 -15.50	4	140	81	8	8	660
PR 75 -20.00	6	140	85	10	10	800
PR 75 -28.00	8	140	90	13	12	980

Таблица 7. Возможные конструкции профилей для трубы КОРСИС ПЛЮС внутренним диаметром 2000 мм

Тип профиля	Sn	a, мм	h, мм	e ₁ , мм	e ₄ , мм	Масса 6 м трубы, кг
PR 90-22.00	2	140	91	8	8	1060
PR 90 -41.00	4	140	100	13	12	1590
PR 110-63.00	6	140	115	13	12	1810
PR 110 -83.10	8	140	126	23	13	2210

**ПЭ литые соединительные детали
Аппараты для стыковой сварки
Полипропиленовые трубы и фитинги**

ЕКО-ПОЛИМЕР
Тел.: +7 (495) 657 7834
+7 (926) 344 6695

**111625, г. Москва,
ул. Лыткаринская, д. 2А**
weldmach@mail.ru www.ekopolimer.narod.ru