

денции медленного сокращения мартеновского производства в будущем может привести к сохранению в 2000—2005 гг. значительной части (35—40%) устаревшего низкокэффективного способа производства [5]. Это, прежде всего, скажется на повышении конкурентоспособности металлопродукции Украины на мировом рынке. В свою очередь, рассмотренные перспективы развития мирового производства и потребления стали (отсутствие тенденций повышения потребности в металлопродукции) дают возможность украинским металлургическим предприятиям определить основные направления структурной перестройки: сокращение доли мартеновского производства, ускоренное внедрение современных технологий выпечки и непрерывной разливки стали, развитие электросталеплавильных цехов по концепции построения мини-завода и пр.

Таким образом, для Украины крайне важно тщательное изучение мирового опыта развития и реконструкции черной металлургии как ведущей отрасли народного хозяйства. Это позволяет определить перспективную программу последовательного включения страны в общеевропейский процесс интеграции. Соответственно ближайшей задачей металлургических предприятий Украины можно считать повышение технологического уровня в производстве стали, что обеспечит конкурентноспособное качество металлопродукции и доведение производства до международной сертификации в соответствии с требованиями стандартов серии ISO 9001 и ISO 9002. Решение таких задач охватывает проблематику скорейшей модернизации цикла сталеплавильного передела на ведущих предприятиях отрасли, что в общем случае должно предполагать не только обеспечение гарантированного качества, но и снижение удельных затрат на производство.

Список литературы

1. Мазур В.А. Перспективы развития горно-металлургического комплекса Украины. — *Сталь*, 1996. № 7. — С.2—5.
2. World Crude Steel Production by Process. — *Iron & Steel Maker*, 1997. July 15. — P.12—13.
3. Смирнов А.Н., Панфилова Т.С., Матвийчук В.И. Прогноз изменения объемов мирового производства стали. — *Металлург*. 1999 № 1. — С.14—16.
4. Большаков В.И. Научно-техническое обеспечение программы развития металлургии Украины// *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1997. № 1. — С.3—6.
5. Афонин С.З. Россия на мировом рынке стальной продукции// *Сталь*. 1998. № 6. — С.68—73.
6. Privatization and changing ownership in the steel industry. ECE Steel Series, 1996. — UNITED NATIONS, New York and Geneva, 1996. — 95p.
7. Матвийчук В.И., Панфилова Т.С., Смирнов А.Н. Исследование динамики развития прогрессивных способов производства стали в Украине// *Современные проблемы становления промышленного производства в условиях формирования рынка и пути их решения: Сб. трудов Донецкого института предпринимательства*. — Донецк: 1997. — С.42—49.

© Смирнов А.Н., Панфилова Т.С., Матвийчук В.И., 1999.

СОЕДИНЕНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫМИ МУФТАМИ

ШЕЛУДЧЕНКО В.И. (ОАО «ДОНЕЦКОБЛГАЗ»)

Выполнен теоретический анализ муфто-клевого трубного соединения. Рассчитаны прочностные характеристики соединения полиэтилен — эпоксидный клей — стеклопластик при действии внутреннего гидростатического давления и растягивающих напряжений. Показано, что такой тип соединения способен выдерживать значительные нагрузки.

В последние годы для транспортировки газообразных и жидких сред широкое распространение получают трубопроводы из полиэтилена [1]. Нами был предложен простой способ [2] соединения полиэтиленовых труб с использованием стеклопластиковых муфт и пеноклеев, включающий размещение муфты в области стыка труб, заполнение зазора между муфтой и концами труб пеноадгезивом и отверждение последнего. Применение указанного способа для восстановления поврежденных участков трубопроводов подтвердило его эффективность [3]. В настоящей работе выполнен теоретический анализ предложенного типа соединений. Он позволяет оценить прочностные характеристики в условиях действия растягивающих напряжений, которые нередко возникают из-за подвижек грунта.

Представим соединение как трехслойный цилиндр (рисунок 1). Под действием давления все точки сечения цилиндра получают радиальное перемещение $U(r)$. Кроме того, в теле трубы, клеевого слоя и муфты возникают радиальные ($\sigma_r(r)$) и тангенциальные ($\sigma_t(r)$) напряжения (здесь r — расстояние точки от оси цилиндра).

Согласно [4], для тонкостенного однослойного цилиндра, находящегося под действием внутреннего давления p_a и внешнего давления p_b , величины смещений, напряжений определяются по формулам:

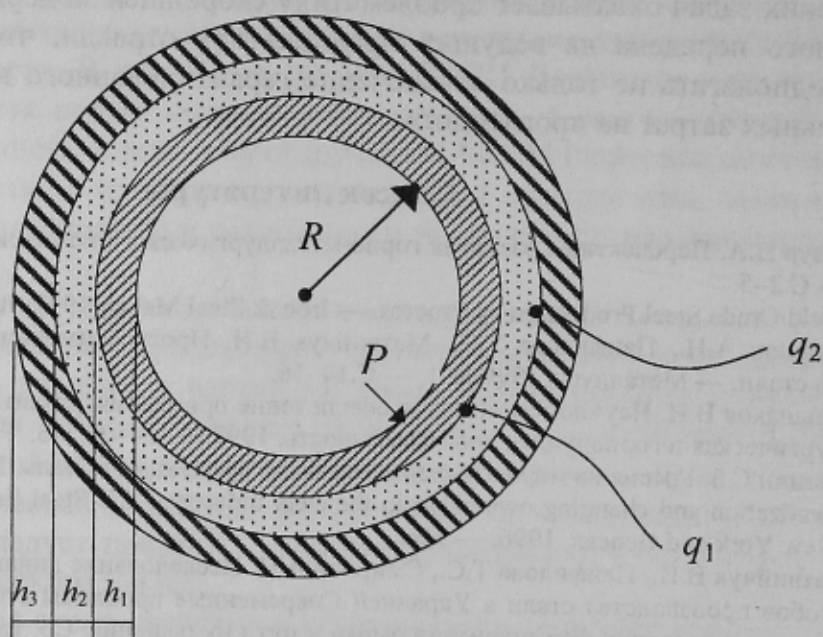


Рисунок 1 — Соединение полиэтилен — эпоксидный клей — стеклопластик в виде трехслойного цилиндра

$$U(r) = \frac{a}{h} \frac{p_a - p_b}{E} r; \quad (1)$$

$$\sigma_r(r) = (p_a - p_b) \frac{r - b}{h} - p_b; \quad (2)$$

$$\sigma_t(r) = \frac{a}{h} (p_a - p_b) - p_b, \quad (3)$$

где a и b — соответственно наружный и внутренний радиусы цилиндра, h — толщина стенки, E — модуль Юнга материала цилиндра.

Применим эти формулы для расчета трехслойного цилиндра. Обозначим как q_1 и q_2 радиальные напряжения, возникающие в месте контакта труба — клей и клей — муфта. Тогда, на основании (1)–(3) получим следующие соотношения для смещений и напряжений в теле трубы, клеевого слоя и муфты:

Для трубы

$$R \leq r \leq R + h_1;$$

$$\sigma_r^T = (p - q_1) \frac{r - R - h_1}{h_1} - q_1;$$

$$\sigma_t^T = \frac{R}{h_1} (p - q_1) - q_1;$$

$$u_1^T = \frac{R}{h_1} \frac{p - q_1}{E_1} r,$$

где E_1 — модуль упругости материала трубы.

Для клеевого слоя:

$$R + h_1 \leq r \leq R + h_1 + h_2;$$

$$\sigma_r^K = (q_1 - q_2) \frac{r - R - h_1 - h_2}{h_2} - q_2;$$

$$\sigma_t^K = \frac{R + h_1}{h_2} (q_1 - q_2) - q_2;$$

$$u_2^K = \frac{R + h_1}{h_2} \frac{q_1 - q_2}{E_2} r,$$

где E_2 — модуль упругости пористого клея.

Согласно [4]:

$$E_2 = E_{20} (1 - \theta)^{3/2},$$

где θ — пористость клея, E_{20} — модуль упругости основы клея.

$$\theta = 1 - \frac{\rho_K}{\rho_0},$$

где ρ_K — кажущаяся плотность материала клея, ρ_0 — плотность материала основы клея.

Для муфты:

$$R + h_1 + h_2 \leq r \leq R + h_1 + h_2 + h_3;$$

$$\sigma_r^M = q_2 \frac{r - R - h_1 - h_2 - h_3}{h_3};$$

$$\sigma_t^M = \frac{R + h_1 + h_2}{h_3} q_2;$$

$$u_3^M = \frac{R + h_1 + h_2}{h_3} \frac{q_2}{E_3} r,$$

где E_3 — модуль упругости материала муфты.

Значения q_1 и q_2 найдем из условия отсутствия разрывов на границах труба — клей и клей — муфта.

На границе труба — клей имеем:

$$\frac{R}{h_1} \frac{p - q_1}{E_1} (R + h_1) = \frac{R + h_1}{h_1} \frac{q_1 - q_2}{E_2} (R + h_1). \quad (4)$$

На границе клей — муфта:

$$\frac{R + h_1}{h_2} \frac{q_1 - q_2}{E_2} (R + h_1 + h_2) = \frac{R + h_1 + h_2}{h_3} \frac{q_2}{E_3} (R + h_1 + h_2). \quad (5)$$

Решая систему уравнений (4)–(5) и пренебрегая малыми слагаемыми, получаем:

$$q_1 = \frac{p(1 + \frac{E_1}{E_2})}{1 + \frac{E_2}{E_3} + \frac{E_1}{E_3}}; \quad (6)$$

$$q_2 = \frac{p}{1 + \frac{E_2}{E_3} + \frac{E_1}{E_3}}. \quad (7)$$

Подставляя эти выражения в соотношения для σ_r^K и σ_t^K , найдем напряжения, возникающие в клеевом слое:

$$\sigma_t^K = p \frac{\frac{R}{h_2} \frac{E_2}{E_3} - 1}{1 + \frac{E_2}{E_3} + \frac{E_1}{E_3}}; \quad (8)$$

$$\sigma_r^K = \frac{p}{1 + \frac{E_2}{E_3} + \frac{E_1}{E_3}} \left(\frac{E_2}{E_3} \frac{r - R - h_1 - h_2}{h_2} - 1 \right). \quad (9)$$

Из соотношений (8), (9) следует, что напряжения σ_r^k в клеевом слое могут быть только сжимающими ($\sigma_r^k < 0$), а σ_i^k — как сжимающими, так и растягивающими, в зависимости от знака разности

$$\Delta = \frac{R}{h_2} \frac{E_2}{E_3} - 1. \quad (10)$$

Если $\Delta > 0$, т.е. $RE_2 > h_2E_3$, то $\sigma_i^k > 0$ и тангенциальные напряжения в клеевом слое являются растягивающими. Если $\Delta < 0$, т.е. $RE_2 < h_2E_3$, то $\sigma_i^k < 0$ и тангенциальные напряжения в клеевом слое являются сжимающими.

Прочность соединения определим из условия потери несущей способности пористого клеевого слоя. Согласно работе [5], пористый материал теряет несущую способность (разрушается либо пластически деформируется) при выполнении условия:

$$\frac{\sigma^2}{\psi(\theta)} + \frac{\tau^2}{\varphi(\theta)} = (1-\theta)K^2, \quad (11)$$

где

$$\sigma = \frac{1}{3}(\sigma_i^k + \sigma_r^k); \quad (12)$$

$$\tau = \sqrt{\frac{2}{3}}|\sigma_i^k - \sigma_r^k|, \quad (13)$$

θ — относительная пористость слоя,

$K = \sqrt{\frac{2}{3}}\sigma_{сж}$, $\sigma_{сж}$ — предел прочности на сжатие,

$$\varphi(\theta) = (1-\theta)^2, \quad \psi(\theta) = \frac{2(1-\theta)^3}{\theta}. \quad (14)$$

Соотношения (8), (9), (11)–(14) позволяют произвести расчет на прочность клеевого соединения при произвольных значениях параметров.

Рассчитаем на основе полученных соотношений максимально возможное давление в трубе для случая, когда материал трубы — полиэтилен высокого давления ($E_1=200$ МПа), материал клея — эпоксидная смола ($E_{20}=10^3$ МПа, $\sigma_{сж}=20$ МПа, $\rho_0=1,2$ г/см³, $\rho_k=0,50$ г/см³), материал муфты — стеклопластик ($E_3=5 \cdot 10^4$ МПа).

В этом случае $\frac{E_2}{E_3} \ll 1$ и $\frac{E_1}{E_3} \ll 1$. Учитывая эти соотношения, упрощаем (8),

(9) и получаем: $\sigma_i^k \approx \sigma_r^k \approx -p$.

Подставляя эти значения в (11)–(13), получаем:

$$p_{max} = \sigma_{сж} \frac{(1-\theta)^2}{\sqrt{\theta}}. \quad \text{В нашем случае: } \theta = 1 - \frac{\rho_k}{\rho_0} = 0,58, \quad p_{max} \approx 4 \text{ МПа.}$$

Расчет прочности соединения по осевым растягивающим усилиям выполняется гораздо проще. Очевидно:

$$F_{max} = \pi(R + h_1)L\tau_{max}, \quad (15)$$

где L — длина муфты, τ_{max} — максимально возможные касательные напряжения в слое.

Если поверхность трубы гладкая, то τ_{max} — адгезионная прочность клеевого соединения, если же имеется специально созданный рельеф, то разрушение происходит по телу клеевого слоя и τ_{max} равно пределу прочности клеевого слоя на сдвиг.

Сопоставим F_{max} с максимально возможными растягивающими усилиями F_{max}^0 для сплошной трубы. В этом случае

$$F_{max}^0 = \pi R h_1 \sigma_B, \quad (16)$$

где σ_B — предел прочности материала трубы при растяжении.

Из (15) и (16) получаем:

$$\frac{F_{max}}{F_{max}^0} \approx \frac{L}{h_1} \frac{\tau_{max}}{\sigma_B}. \quad (17)$$

Для рассмотренного выше конкретного соединения $L \approx 100$ мм, $h_1 = 4$ мм, $\sigma_B = 10$ МПа, $\tau_{max} = 0,1$ МПа,

$$\frac{F_{max}}{F_{max}^0} = 0,25,$$

то есть максимально возможные усилия растяжения снизились из-за соединения трубы в 4 раза.

Если бы поверхность трубы была с рельефом, то $\tau_{max} \approx 5$ МПа и

$$\frac{F_{max}}{F_{max}^0} = 12,5,$$

то есть композиционное соединение на порядок прочнее трубы.

Вывод: полученные в работе аналитические выражения позволяют оценить прочность муфто-клеявого соединения в зависимости от его геометрических размеров и типа использованных материалов. Выполненные расчеты показывают, что при соответствующей подготовке склеиваемых поверхностей соединение полиэтилен — эпоксидный клей — стеклопластик способно выдерживать значительные растягивающие напряжения, сопоставимые с прочностью материала трубы.

Список литературы

1. Г.И. Шапиро, С.В. Ехлаков, В.В. Абрамов. Пластмассовые трубопроводы — М.: Химия, 1986 — 144 с.
2. Патент 10300, Україна. Спосіб з'єднання поліетиленових труб/В.Ф.Строганов, В.І.Шелудченко, В.М.Савченко, Г.І.Пшеничний. — 1996 — Бюл. № 4. Спосіб з'єднання поліетиленових труб/В.Ф.Строганов, В.І.Шелудченко, В.М.Савченко, Г.І.Пшеничний. — 1996 — Бюл. № 4.
3. В.Ф. Строганов, В.А. Белошенко, В.И. Шелудченко. Клеевые технологии в соединении, ремонте трубопроводов из полимерных материалов. // Полимергаз. — 1998 — № 4 — с.35.
4. В.И. Федосьев. Сопротивление материалов. — М.: Наука, 1970 — 544 с.
5. В.В. Скороход. Физико-механические свойства пористых материалов // Порошковая металлургия — 77. — К.: Наук.думка, 1977 — с.120–129.