

ОЦЕНКА КРИТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ РАЗРУШЕНИИ СТАЛЬНЫХ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ ПРИ НЕСПЛАВЛЕНИИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Шинкин В.Н.,

Д.ф.-м.н., профессор,

Национальный исследовательский технологический университет

МИСиС», г. Москва

shinkin-korolev@yandex.ru

Аннотация. Предложен математический критерий определения критического внутритрубного давления, при котором происходит упругопластическое разрушение стенки трубы при несплавлении сварного шва. Результаты исследования могут быть использованы при диагностике причин разрушения стальных труб большого диаметра магистральных газонефтепроводов.

Ключевые слова: стальные сварные трубы большого диаметра, критическое давление разрыва трубы, модель нелинейной упругопластической сплошной среды.

THE CRITICAL PRESSURE ESTIMATION OF THE STEEL MAJOR-DIAMETER TUBES' DESTRUCTION OF THE GAS-OIL MAIN PIPELINES UNDER THE WELD FAULTY FUSION

Shinkin V.N.

Doctor of Science, professor of the National Research Technological

University «MISIS», Moscow

Abstract. For the elasto-plastic destruction of the tube wall under the weld faulty fusion, the mathematical criteria for the definition of the critical in-tube pressure is obtained. The results of the investigation are important for the diagnostics of the failure's causes of the steel major-diameter tubes for the main gas-and-oil pipelines.

Keywords: steel welded major-diameter tubes, critical pressure of pipe fracture, the nonlinear elasto-plastic model of continuum.

Основные причины аварий магистральных трубопроводов. Среднее число инцидентов и аварий, приходящихся на 1000 км, составило в России за 1999–2009 гг. 0,06 отказов в год. На западноевропейских магистральных трубопроводах среднее число отказов за 1991–2006 гг. составило 0,32 отказа в год, на североамериканских – до 0,48. В США в 1,5 раза больше отказов из-за внешних воздействий. В Европе три наиболее важные причины возникновения аварий – внешние воздействия на трубопроводы (36%), коррозия (29%) и механические повреждения (24%).

Производство труб большого диаметра. В практике трубного производства для магистральных трубопроводов утвердился процесс формовки трубной заготовки из толстого стального листа по схеме JCOE, разработанный фирмой SMS Meer [1–3, 7–21].

Перед формовкой стальной лист правят на многороликовых листопрямляющих машинах [3–6]. Дефект образования гофра продольной кромки стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer изучался в работах [1, 2, 7–16], вредное влияние остаточных напряжений в стенке стального листа после трубоформовочного пресса SMS Meer на процесс экспандирования трубы – в [1, 2, 18], дефект «точка перегиба» при изгибе стального листа на трубоформовочном прессе SMS Meer – в [1, 2, 19], дефект стального листа раскатной пригар с риской – в [1, 2, 22], процессы прокатки стального листа для производства труб – в [23–27], энергосиловые параметры при формовке листа – в [1–3, 12, 28–33].

Прочностной анализ разрушения труб при несплавлении сварного шва. Пусть D , h и Δ – внешний диаметр трубы, толщина стенки трубы ($h \ll$

D) и глубина несплавления сварного соединения на внутренней поверхности трубы ($\Delta < h$). Пусть ϕ и s – угол и длина нижней фаски трубы (рис. 1).

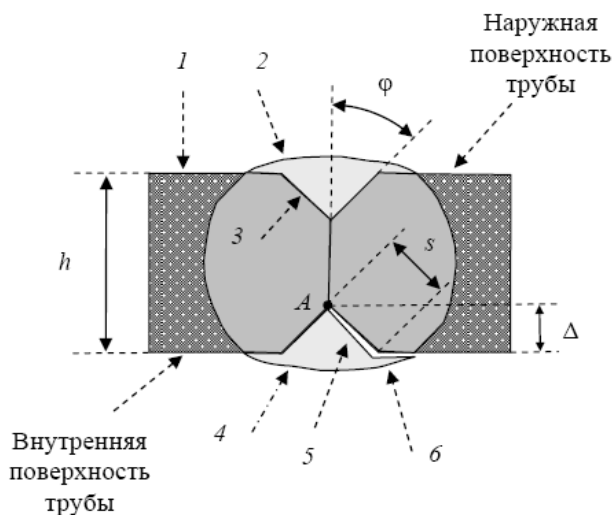


Рис. 1. Схема дефекта несплавления сварного шва трубы: 1 – стенка трубы, 2 – внешний сварной шов, 3 – фаска кромки трубы до сварки, 4 – внутренний сварной шов, 5 – дефект несплавления металла сварного шва с основным металлом трубы, 6 – дефект наплыва сварного шва на внутреннюю поверхность трубы.

Под действием внутреннего давления p при гидротестировании металл трубы в зоне несплавления заводского сварного шва испытывает сложное сопротивление: окружное растяжение, радиальное сжатие, изгиб относительно продольной линии сварного шва, а также концентрацию напряжений. По теории упругопластического течения и критерию прочности Треска–Сен-Венана внутренняя стенка труб начинает разрушаться в точке A (корне внутреннего сварного шва), когда максимальные касательные напря-

жения в точке A достигают половины предела прочности σ_v . Разрушение сварного шва происходит при достижении в трубе критического давления:

$$p_{sh}^{критич} = \frac{\sigma_v}{\mu \left(\frac{D + 2\Delta}{2(h - \Delta)} + \frac{3D\Delta}{2(h - \Delta)^2} + \frac{3h\Delta}{(h - \Delta)^2} + 1 \right)},$$

где $\mu = \text{const} \geq 1$ – безразмерный коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений в зоне несплавления сварного шва.

Пример разрушения трубы. На рис. 2 показано разрушение прямошовной двухшовной трубы класса прочности К60, диаметра 1220 мм и с толщиной стенки 19 мм после гидравлических испытаний на трассе магистрального нефтепровода при достижении величины испытательного давления 109,8 кгс/см². У разорванной трубы был обнаружен заводской дефект несплавления продольного сварного шва глубиной 4–5 мм (рис. 3).

Прочностной анализ критических давлений разрушенной трубы. Для разорванной трубы $D = 1220$ мм, $h = 19$ мм, $\Delta = 4\text{--}5$ мм, $\sigma_v(\text{трубы}) \leq 527$ Н/мм², $\sigma_v(\text{шва}) \leq 673$ Н/мм². Применяя критерий разрыва трубы при несплавлении сварного шва, получаем, что при глубине несплавления продольного сварного шва $\Delta = 3,2$ мм и $\mu = 1$ для основного металла трубы $p_{sh}^{критич} = 82,993$ кгс/см², а для металла сварного продольного шва $p_{sh}^{критич} = 105,985$ кгс/см². Результаты вычислений показывают, что разрушение трубы при гидротестировании на трассе началось несколько раньше, чем испытательное давление в нефтепроводе достигло значения 109,8 кгс/см².

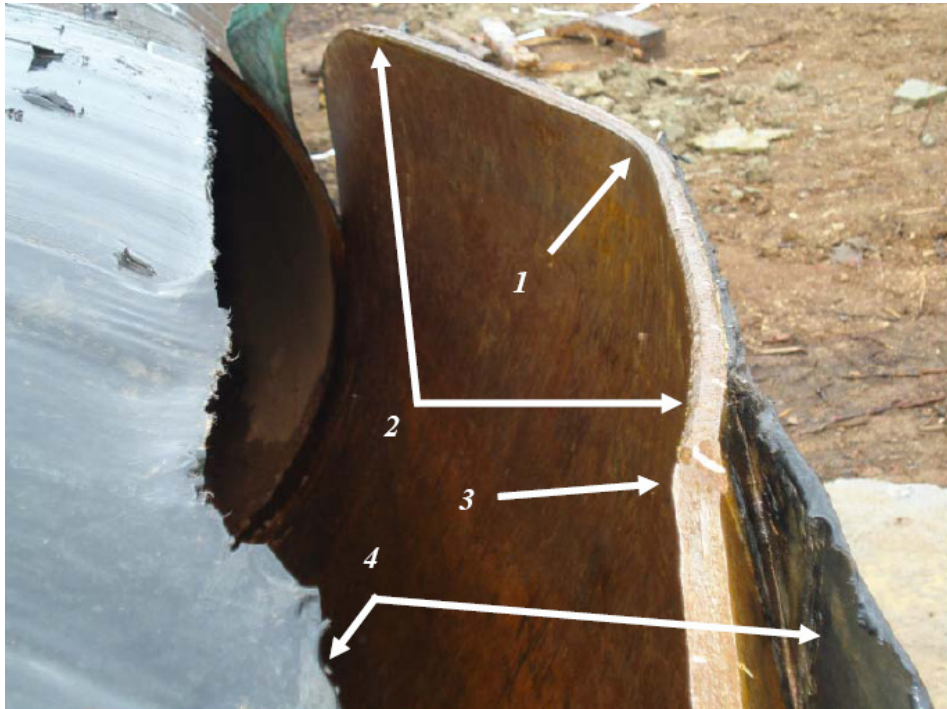


Рис. 2. Вид сбоку разрыва трубы при гидроиспытаниях: 1 – место начала разрыва трубы, 2 – продольный сварной шов, 3 – кольцевой (монтажный) сварной шов, 4 – наружная изоляция трубы

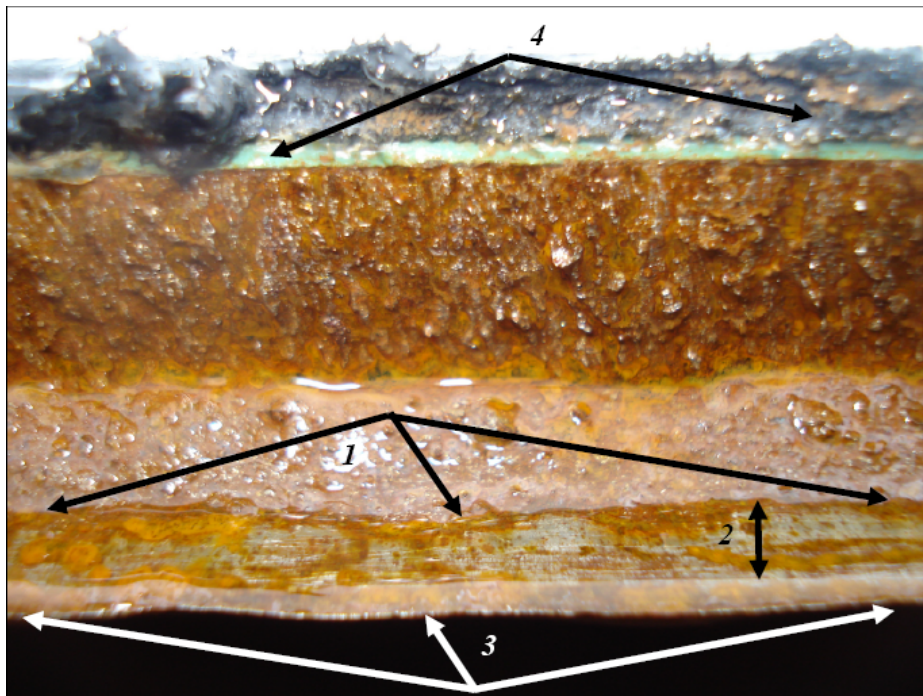


Рис. 3. Дефекты сварного соединения в области разрыва трубы: 1 – дефект несплавления основного металла трубы и внутреннего продольного сварного шва, 2 – глубина зоны несплавления, 3 – дефект наплыва металла внутреннего сварного шва на поверхность трубы, 4 – наружная изоляция трубы

Список литературы

1. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
2. Шинкин В.Н. Сопrotивление материалов для металлургов. – М: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
3. Шинкин В.Н. Сопrotивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
4. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатиролковой листо-равильной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. №1. С. 42–20.
5. Шинкин В.Н., Федотов О.В. Расчет технологических параметров правки горячекатаной рулонной полосы на пятиролковой машине линии Fagor Arrasate // Производство проката. 2013. №9. С. 43–48.
6. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятиролковой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан–5000 // Производство проката. 2014. №5. С. 7–15.
7. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. Вып. 6. С. 171–174.
8. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. №4. С. 14–22.
9. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое изменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. №6. С. 53–56.
10. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528–531.
11. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формoизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия вузов. Черная металлургия. 2011. №9. С. 45–49.
12. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. №4 (62). Вып. 4. С. 69–74.
13. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Барыков А.М. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. №11. С. 77–81.
14. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // Metallurgist. 2012. Vol. 55. Nos. 11–12. P. 833–840.
15. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. №1. С. 54–58.
16. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61–66.
17. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессах фирмы SMS Meer при производстве труб большого диаметра по схеме JCOE // Производство проката. 2014. №12. С. 13–20.
18. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. №7. С. 25–29.

19. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meeg при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. №9. С. 21–26.
20. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. №10. С. 12–19.
21. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. №4. С. 38–42.
22. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте раскатной пригар с риской // Производство проката. 2012. №12. С. 19–24.
23. Бельский С.М., Третьяков В.А., Барышев В.В., Кудинов С.В. Исследование процесса формирования ширины сляба в черновой группе широкополосного стана // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1998. №1. С. 24–29.
24. Скороходов В.Н., Чернов П.П., Мухин Ю.А., Бельский С.М. Математическая модель процесса свободного уширения при прокатке полос // Сталь. 2001. №3. С. 38–40.
25. Скороходов В.Н., Мухин Ю.А., Бельский С.М., Мазур С.И. Особенности профилировок рабочих валков для клетей с осевой сдвижкой. Сообщение 1 // Производство проката. 2007. №12. С. 17–19.
26. Скороходов В.Н., Мухин Ю.А., Бельский С.М., Мазур С.И. Особенности профилировок рабочих валков для клетей с осевой сдвижкой. Сообщение 2 // Производство проката. 2008. №1. С. 21–24.
27. Бельский С.М. О некоторых эффектах применения осевой сдвижки рабочих валков // Производство проката. 2008. №7. С. 21–24.
28. Бровман Т.В. Определение усилий при вдавливании цилиндрического пуансона в заготовку // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1997. №1. С. 44–47.
29. Бровман Т.В. Определение усилий при листовой штамповке // Вестник машиностроения. 2004. №3. С. 60–61.
30. Бровман Т.В. Энергосиловые параметры при деформации листовых заготовок // Производство проката. 2012. №6. С. 27–32.
31. Бровман Т.В., Васильев М.Г. Модель численных расчетов искусственной анизотропии при деформации тонколистового материала // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Прикладная математика. 2014. №2. С. 25–32.
32. Бровман Т.В., Кутузов А.А. О выборе режимов изгиба при вальцовке заготовок // Производство проката. 2014. №12. С. 29–32.
33. Бровман Т.В., Кутузов А.А. Определение усилий подгибки в штампах кромок стальных кольцевых заготовок // Производство проката. 2015. №2. С. 18–23.